

Reglamento CIRSOC 302
Ministerio de Planificación Federal,
Inversión Pública y Servicios
Secretaría de Obras Públicas de la Nación

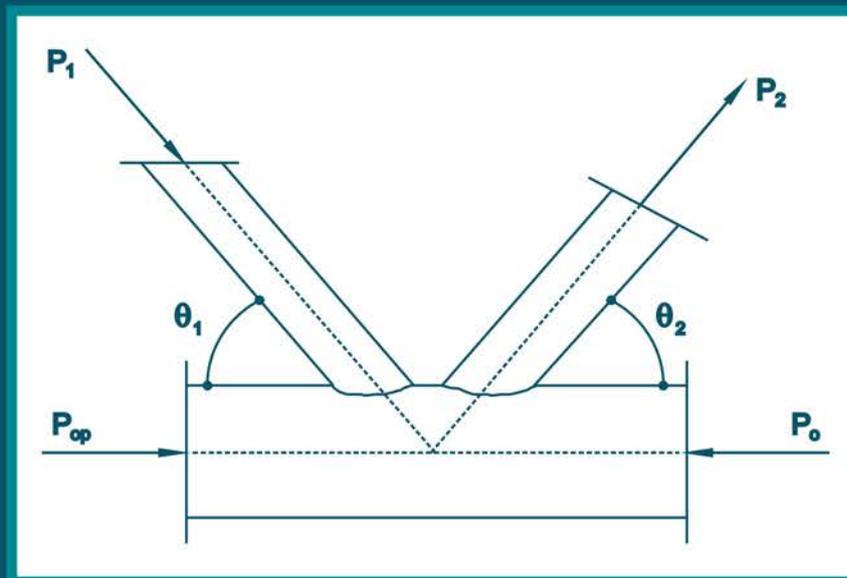
INTI

Instituto Nacional de
Tecnología Industrial



CIRSOC

Centro de Investigación de los
Reglamentos Nacionales de
Seguridad para las Obras Civiles



***EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL
REGLAMENTO ARGENTINO DE
ELEMENTOS ESTRUCTURALES
DE TUBOS DE ACERO
PARA EDIFICIOS***

Julio 2005

***EJEMPLOS DE
APLICACIÓN DEL
REGLAMENTO ARGENTINO
DE ELEMENTOS
ESTRUCTURALES
DE TUBOS DE ACERO
PARA EDIFICIOS***

Ing. Gabriel Troglia

EDICION JULIO 2005



**Av. Cabildo 65 Subsuelo – Ala Savio
(C1426AAA) Buenos Aires – República Argentina
TELEFAX. (54 11) 4779-5271 / 4779-5273**

**E-mail: cirsoc@inti.gob.ar
cirsoc@ffmm.gov.ar**

INTERNET: www.inti.gob.ar/cirsoc

Primer Director Técnico († 1980): Ing. Luis María Machado

Directora Técnica: Inga. Marta S. Parmigiani

Coordinadora Área Acciones: Inga. Alicia M. Aragno

Área Estructuras de Hormigón: Ing. Daniel A. Ortega

Área Administración, Finanzas y Promoción: Lic. Mónica B. Krotz

Área Venta de Publicaciones: Sr. Néstor D. Corti

© 2005

Editado por INTI

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

Av. Leandro N. Alem 1067 – 7° piso - Buenos Aires. Tel. 4515-5000/5001

**Queda hecho el depósito que fija la ley 11.723. Todos los derechos, reservados. Prohibida la reproducción parcial o total sin autorización escrita del editor. Impreso en la Argentina.
Printed in Argentina.**

ORGANISMOS PROMOTORES

Secretaría de Obras Públicas de la Nación
Subsecretaría de Vivienda de la Nación
Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Instituto Nacional de Prevención Sísmica
Ministerio de Hacienda, Finanzas y Obras Públicas de la Provincia del Neuquén
Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires
Dirección Nacional de Vialidad
Vialidad de la Provincia de Buenos Aires
Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas
Cámara Argentina de la Construcción
Consejo Profesional de Ingeniería Civil
Cámara Industrial de Cerámica Roja
Asociación de Fabricantes de Cemento Pórtland
Instituto Argentino de Normalización
Techint
Acindar
Consejo Vial Federal

MIEMBROS ADHERENTES

Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón
Asociación Argentina de Hormigón Estructural
Asociación Argentina de Hormigón Elaborado
Asociación Argentina del Bloque de Hormigón
Asociación de Ingenieros Estructurales
Centro Argentino de Ingenieros
Instituto Argentino de Siderurgia
Telefónica de Argentina
Transportadora Gas del Sur
Quasdam Ingeniería
Sociedad Central de Arquitectos
Sociedad Argentina de Ingeniería Geotécnica
Colegio de Ingenieros de la Provincia de Buenos Aires
Cámara Argentina del Aluminio y Metales Afines
Cámara Argentina de Empresas de Fundaciones de Ingeniería Civil

Reconocimiento Especial

El **INTI-CIRSOC** agradece muy especialmente a las Autoridades del ***American Institute of Steel Construction (AISC)***, del ***Steel Tube Institute of North American (STI)*** y del ***American Iron and Steel Institute (AISI)*** por habernos permitido adoptar como base para el desarrollo de este Reglamento, el documento ***Hollow Structural Sections (HSS) Connections Manual- AISC Specification for the Design of Steel Hollow Structural Sections.***

COMISION PERMANENTE DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE INTI-CIRSOC

Coordinador

Ing. Gabriel R. Troglia UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA, DEPARTAMENTO ESTRUCTURAS, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA, FACULTAD DE ARQUITECTURA URBANISMO Y DISEÑO

Integrantes:

Ing. Francisco Pedrazzi INSTITUTO ARGENTINO DE SIDERURGIA

Ing. Horacio Rezk UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Arnaldo Mallamaci UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN, FACULTAD DE INGENIERIA

Ing. Alejandro Sesin TECHINT S.A.

Ing. Gustavo Darin UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, FACULTAD DE INGENIERÍA - U.T.N. FACULTAD REGIONAL BS. AS. - ASOCIACIÓN DE INGENIEROS ESTRUCTURALES

Ing. Juan C. Reimundin UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGIA

Inga. Nora Moncada UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERIA Y AGRIM., PROFESORA TITULAR CONSTRUCCIONES METÁLICAS II

Ing. Juan Carlos Piter UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL, FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY

Ing. Hector Auad UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA

Ing. Alejandro Giuliano INPRES - INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA

COMISION PERMANENTE DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE INTI-CIRSOC

(*continuación*)

Ing. Fructuoso Berganza	CÁMARA DE FABRICANTES DE CAÑOS Y TUBOS DE ACERO
Ing. Adrián Puente Vergara Ing. Osvaldo R. Arario Ing. Faustino Amelong	ACINDAR S. A.
Ing. Daniel García Gei	UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL, FACULTAD REGIONAL MENDOZA
Ing. Pablo Alra	TENARIS-SIDERCA
Ing. Raul Cardoso	MARBY S.A.
Ing. Pablo Ruival	M. ROYO S.A.
Ing. Heriberto Martin	TUBOS ARGENTINOS S.A.
Ing. Oliva Hernández	IRAM
Ing. Oscar Troviano	MINISTERIO DE HACIENDA, FINANZAS Y OBRAS PÚBLICAS DE LA PROVINCIA DEL NEUQUEN, SUBSECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS
Ing. Enrique Trivelli	TUBHIER S.A.
Ing. Francisco Crisafulli	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO, FACULTAD DE INGENIERIA
Ing. José M Vidmar	INVITADO ESPECIAL
Ing. Antonio Coloccini	INVITADO ESPECIAL
Ing. Bruno Coloccini	INVITADO ESPECIAL
Ing. Eduardo Asta	INVITADO ESPECIAL

PRÓLOGO

En esta publicación se desarrollan Ejemplos de Aplicación del Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Tubos de Acero para Edificios, conocido como Reglamento CIRSOC 302-2005.

Los ejemplos tienen por finalidad facilitar la comprensión y utilización por parte de los usuarios de las especificaciones de este Reglamento.

Se han elegido elementos estructurales simples y de uso habitual en las estructuras metálicas de nuestro medio. En algunos casos los elementos se consideran como aislados y en otros, formando parte de estructuras sencillas.

En los Ejemplos se indican los Capítulos, Apéndices y Secciones del Reglamento CIRSOC 302-2005 que son de aplicación en cada caso. Las fórmulas y expresiones se indican con su correspondiente designación en el Reglamento colocada entre paréntesis a la derecha de su transcripción o reemplazo numérico. Las expresiones que son propias de los Ejemplos (utilizadas como referencia posterior) tienen la siguiente designación (Ej. N° de ejemplo - N° de expresión).

ÍNDICE

EJEMPLO N°1	1
Tubo circular con costura con extremo ranurado y chapa de unión soldada concéntrica sometido a tracción. Unión abulonada tipo aplastamiento a chapa plana. Aplicación de los Capítulos 2, 3 y 9.	
EJEMPLO N°2	9
Tubo rectangular con costura unido a chapa de nudo con bulones pasantes y sometido a tracción. Aplicación de los Capítulos 2, 3 y 9.	
EJEMPLO N° 3	17
Tubo rectangular con costura sometido a compresión y flexión disimétrica. Aplicación de los Capítulos 2, 4, 5 y 7.	
EJEMPLO N°4	25
Viga reticulada plana de tubos rectangulares con costura. Uniones directas de barras de alma a cordones. Aplicación de los Capítulos 1, 2 , 3, 4, 5, 7 y 9.	
EJEMPLO N°5	45
Viga reticulada multiplano de tubos circulares con costura. Uniones directas de barras de alma a cordones. Aplicación de los Capítulos 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 9.	

UNIDADES

Se utilizan las unidades del Reglamento CIRSOC 302-2005. Es de hacer notar que en el Reglamento existen numerosas expresiones dimensionales por lo que para su aplicación deben ser ***estrictamente respetadas las unidades indicadas*** en el mismo.

dimensiones lineales	: cm.
áreas	: cm ²
módulo plástico, módulo resistente	: cm ³
momento de inercia, módulo de torsión	: cm ⁴
módulo de alabeo	: cm ⁶
tensiones	: MPa
fuerzas, esfuerzos de corte	: kN
momentos flexores	: kNm

Para facilitar el uso de las unidades del Reglamento CIRSOC 302-2005 se indican las equivalencias aproximadas con las unidades de tensiones, fuerzas y momentos flexores utilizadas tradicionalmente en nuestro medio.

1 MPa	≈ 10 Kg/cm ²
1 kN	≈ 100 Kg ≈ 0,1 Tn
1 kNm	≈ 0,1 Tn m

SIMBOLOGÍA y GLOSARIO

La simbología y los términos empleados responden respectivamente a la Simbología de los Reglamentos CIRSOC 302-2005 y CIRSOC 301-2005, y al Glosario del Reglamento CIRSOC 301-2005.

RECOMENDACIÓN

Se sugiere la lectura exhaustiva de los Comentarios al Reglamento CIRSOC 302-2005 para una mejor comprensión de las especificaciones del Reglamento y su aplicación.

EJEMPLO N° 1

Tubo circular con costura con extremo ranurado y chapa de unión soldada concéntrica, sometido a tracción. Unión abulonada tipo aplastamiento a chapa plana.

Aplicación de los Capítulos 2, 3 y 9.

Enunciado

Dimensionar el tubo circular, la chapa concéntrica extrema, su unión soldada con el tubo y la unión abulonada a chapas de nudo. Se analizarán dos diseños de la unión abulonada (con 1 y con 2 hileras de bulones). (Figura Ej.1-1).

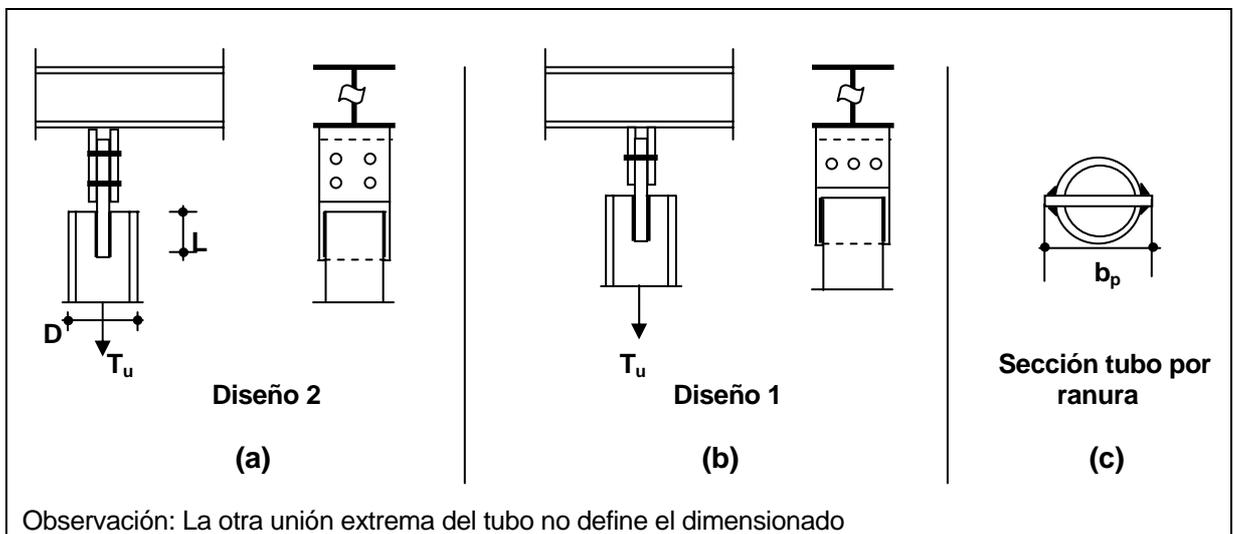


Figura Ej. 1-1. Esquema del Ejemplo 1.

Datos:

- Fuerza de tracción requerida : $T_u = 155 \text{ kN}$
- Longitud del tensor: $L_t = 3 \text{ m}$
- Tubo con costura: $D = \text{a determinar}$ espesor $t = 3,2 \text{ mm}$
- Chapa de unión concéntrica: espesor $b_1 = 6,35 \text{ mm}$ ancho $b_p = \text{a determinar}$
- Longitud de unión soldada a tubo: $L = \text{a determinar}$
- Chapas de nudo: espesor $t_c = 3,2 \text{ mm}$ ancho $= b_p$
- Bulones : Tipo **A 325** diámetro y cantidad = a determinar
- Acero tubo: s/ NM223-2000 Tipo **A** s/ IRAM-IAS U 500-2592/02 **TE 20**
- Tubo circular $F_y = 228 \text{ MPa}$ $F_u = 310 \text{ MPa}$
- Acero chapas : **F 24** ($F_y = 235 \text{ MPa}$; $F_u = 370 \text{ MPa}$)
- Electrodo: con $F_{EXX} = 480 \text{ MPa}$

(1) Dimensionado del tubo

Estados Límites según el Capítulo 3

(a) Estado Límite de fluencia en sección bruta:

$$\text{Haciendo } T_u = P_d = \phi_t P_n = \phi_t F_y A_g (10)^{-1} \quad \phi_t = 0,9 \quad \text{de Exp. (3.1-1)}$$

$$A_{g\text{nec}} = \frac{T_u 10}{\phi_t F_y} = \frac{155 \times 10}{0,9 \times 228} = 7,56 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ej. 1-1})$$

(b) Estado Límite de rotura en sección neta:

$$\text{Haciendo } T_u = P_d = \phi_t P_n = \phi_t F_u A_e (10)^{-1} \quad \phi_t = 0,75 \quad \text{de Exp. (3.1-2)}$$

$$A_{e\text{nec}} = \frac{T_u 10}{\phi_t F_u} = \frac{155 \times 10}{0,75 \times 310} = 6,67 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ej. 1-2})$$

Según la Sección 2.1.(b) y la Exp. (2.1-1):

$$A_e = A_n U \quad ; \quad A_n = A_g - t b_t \quad (\text{Exp. 2.1-1a})$$

$$\text{Con } b_t = 2 b_i \quad (\text{Ver la Figura 2.2-1}) \quad b_t = 2 \times 0,635 = 1,27 \text{ cm}$$

$$\text{Resulta } A_e = (A_g - 0,32 \times 1,27) U = A_g - 0,4064) U \quad (\text{Ej. 1-3})$$

Proponemos el máximo aprovechamiento posible de la sección del tubo, adoptando $U = 0,9$

De (Ej. 1-2) y (Ej. 1-3) resulta

$$A_{g\text{nec}} = [(A_{e\text{nec}}/0,9) + 0,4064] = [(6,67/0,9) + 0,4064] = 7,82 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ej. 1-4})$$

(c) Tubo adoptado: de (Ej. 1-1) y (Ej.1-4) resulta $A_{g\text{nec}} = 7,82 \text{ cm}^2$

De las Tablas para un espesor $t = 3,2 \text{ mm}$ se elige un tubo con $D = 101,6 \text{ mm}$ (4")

$$A_g = 9,892 \text{ cm}^2 \quad r = 3,48 \text{ cm}$$

(d) Verificación de la esbeltez global del tubo (Sección 2.3.)

$$(L_t / r) = 300 / 3,48 = 86,3 < 300$$

VERIFICA

(2) Dimensionado unión soldada tubo-chapa concéntrica

(a) Longitud L necesaria para transmitir fuerza

Siendo la sección bruta del tubo adoptado mayor que la necesaria se puede reducir el valor de U con respecto al adoptado previamente.

Para un tubo ϕ 101,6 x 3,2 $A_g = 9,892 \text{ cm}^2$

$$A_n = A_g - t b_t = 9,892 - 0,32 \times 1,27 = 9,485 \text{ cm}^2$$

$$A_e = A_n \cdot U \Rightarrow U = A_e / A_n ;$$

$$\text{de (Ej.1-2) } A_{\text{enec}} = 6,67 \text{ cm}^2 \Rightarrow U_{\text{min}} = A_{\text{enec}} / A_n = 6,67 / 9,485 = 0,70 \quad \text{(Ej.1-5)}$$

$$U = 1 - (\bar{x} / L) \leq 0,9 \quad (\text{Exp. 2.1-2}) \quad \text{Para CHS} \quad \bar{x} = \frac{D}{\pi} \quad (\text{Exp.2.1-3})$$

$$\text{Resulta: } L_{\text{min}} = \frac{\bar{x}}{1-U} = \frac{D/\pi}{1-U} = \frac{10,16/\pi}{1-0,70} = 10,80 \text{ cm} \quad \text{Se adopta } L = 11 \text{ cm}$$

(b) Verificación de la resistencia de la unión soldada. Soldadura de filete (Sección 9.2.4.)

$$L / t = 11 / 0,32 = 34,4 > 25 \quad \text{corresponde aplicar (Exp. 9.2-6)}$$

$$\text{Para un filete } R_{d1} = \phi 0,75 t L F_u (10)^{-1} \quad \text{con } \phi = 0,50$$

Existen 4 filetes (ver la Figura Ej.1-1 (c))

$$\text{Resistencia de diseño unión } R_{d1} = 4 \times 0,50 \times 0,75 \times 0,32 \times 11 \times 310 \times 10^{-1} = 163,7 \text{ kN}$$

Además con $t = 3,2 \text{ mm}$ se debe cumplir (Exp. 9.2-8),

$$R_{d1} = \phi 0,60 t_w L F_{EXX} (10)^{-1} \quad \text{con } \phi = 0,60$$

De la Tabla J.2-4 del Reglamento CIRSOC 301-2005 se adopta:

$$w_1 = 3,5 \text{ mm} > 3 \text{ mm (mínimo)} \quad t_w = 0,707 w_1$$

$$\text{Para 4 filetes } R_{d2} = 4 \times 0,60 \times 0,60 \times 0,707 \times 0,35 \times 11 \times 480 \times 10^{-1} = 188,1 \text{ kN}$$

De R_{d1} y R_{d2} la **resistencia de diseño de la unión** es:

$$R_d = 163,7 \text{ kN} > F_u = 155 \text{ kN}$$

VERIFICA

(3) Dimensionado unión abulonada y verificación chapas de unión

(3.1.) Diseño 1

Se proponen tres bulones $d = (7/16)'' = 1,111 \text{ cm}$ $A_b = 0,97 \text{ cm}^2$

Según la Sección 9.1. valen las especificaciones del Reglamento CIRSOC 301-2005

De la Tabla 9.1-1, $d_{\text{nom}} \text{ agujero normal} = 1/2'' = 1,27 \text{ cm}$

De la Sección B.2. (Reglamento CIRSOC 301-2005):

$$d_{\text{cal}} \text{ agujero} = 1,27 \text{ cm} + 0,2 \text{ cm} = 1,47 \text{ cm}$$

• Verificación de bulones

Resistencia de diseño a corte de un bulón por plano de corte $R_d = \phi \cdot F_v \cdot A_b \cdot 0,1$ (Sección J.3.6. del Reglamento CIRSOC 301-2005).

$F_v = 415 \text{ MPa}$ (Tabla J.3-2, CIRSOC 301-2005, rosca excluida del plano de corte)
 $\phi = 0,75$

Para 3 bulones con dos planos de corte $R_d = 3 \times 2 \times 0,75 \times 415 \times 0,97 \times 0,1 = 181,1 \text{ kN}$

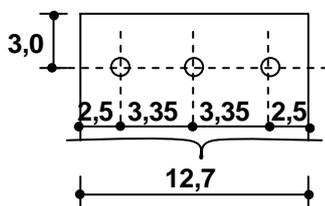
$$R_d = 181,1 \text{ kN} > 155 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

• Aplastamiento de la chapa en los agujeros

Para alojar filetes de soldadura se adopta:

$$b_p = D + 2,54 \text{ cm} = 12,7 \text{ cm}$$
$$\text{espesor } b_1 = 0,635 \text{ cm}$$

Según la Sección 9.1.1.(e) por ser el espesor de chapa $> 3,2 \text{ mm}$ rige la Sección J.3.10. del Reglamento CIRSOC 301-2005.



Verificación gramil y distancia al borde

$$g = 3,35 \text{ cm} > 3 d = 3 \times 1,111 = 3,333 \text{ cm} \quad \text{Verifica}$$

$$d_b = 2,5 \text{ cm} \text{ ó } 3 \text{ cm} > 1,75 d = 1,75 \times 1,111 = 1,95 \text{ cm} \quad \text{Verifica}$$

No se permite la deformación por lo que rige la expresión (J.3.2a)

Por cada bulón $R_{d1} = \phi 1,2 L_c t F_u 0,1$ con $\phi = 0,75$

Para 3 bulones $R_{d1} = 3 \times 0,75 \times 1,2 \times (3 - 1,111/2) \times 0,635 \times 370 \times 0,1 = 155,07 \text{ kN}$

$$R_{d1} = 155,07 \text{ kN} > 155 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

Por cada bulón $R_{d2} = \phi \cdot 2,4 d t F_u 0,1$ con $\phi = 0,75$

Para 3 bulones $R_{d2} = 3 \times 0,75 \times 2,4 \times 1,111 \times 0,635 \times 370 \times 0,1 = 141 \text{ kN}$

$$R_{d2} = 141 \text{ kN} < 155 \text{ kN}$$

NO VERIFICA

- **Resistencia chapa concéntrica a tracción**

Se aplica la Sección **J.5.2.** del Reglamento CIRSOC 301-2005 con un área neta efectiva de chapa plana con una sola hilera de agujeros perpendicular a la fuerza obtenida de acuerdo con la Sección **2.1.(2)**.

Chapa $b_p = 12,7 \text{ cm}$ $b_1 = 0,635 \text{ cm}$

$$A_g = b_p b_1 = 12,7 \times 0,635 = 8,06 \text{ cm}^2$$

$$A_n = (b_p - 3d_{cal}) b_1 = (12,7 - 3 \times 1,47) \times 0,635 = 5,26 \text{ cm}^2$$

Según la Sección **J.2.5.** del Reglamento CIRSOC 301-2005:

$$A_n \leq 0,85 A_g = 6,851 \text{ cm}^2$$

VERIFICA

$$A_e = U A_n$$

(Exp. 2.1-8)

con arandelas bajo cabeza y tuerca:

$$U = 0,1 + 3 n_1 (d/b_p) = 0,1 + 3 \times 3 \times (1,111/12,7) = 0,89$$

$$A_e = 0,89 \times 5,26 = 4,68 \text{ cm}^2$$

(a) Fluencia de la sección bruta:

$$R_d = \phi A_g F_y 0,1 = 0,9 \times 8,06 \times 235 \times 0,1 = 170,5 \text{ kN} > 155 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

(b) Rotura en sección neta:

$$R_d = \phi A_e F_u 0,1 = 0,75 \times 4,68 \times 370 \times 0,1 = 129,9 \text{ kN}$$

$$R_d = 129,9 \text{ kN} < 155 \text{ kN}$$

NO VERIFICA

- **Conclusión:**

El Diseño **1 NO VERIFICA** los estados límites de aplastamiento de la chapa en los agujeros y rotura a tracción de la sección neta de la chapa concéntrica.

(3.2.) Diseño 2

Se proponen cuatro bulones $d = (3/8)'' = 0,95 \text{ cm}$ $A_b = 0,71 \text{ cm}^2$

Según la Sección 9.1. valen las especificaciones del Reglamento CIRSOC 301-2005.

De la Tabla 9.1-1: d_{nom} agujero normal = $13/32'' = 1,04 \text{ cm}$

De la Sección B.2. (del Reglamento CIRSOC 301-2005) d_{cal} agujero = $1,04 + 0,2 \text{ cm} = 1,24 \text{ cm}$

• Verificación bulones

Resistencia de diseño a corte de un bulón por plano de corte:

$$R_d = \phi F_v A_b 0,1 \text{ (Sección J.3.6. del Reglamento CIRSOC 301-2005)}$$

$$F_v = 415 \text{ MPa (Tabla J.3-2, del Reglamento CIRSOC 301-2005, rosca excluida del plano de corte)} \quad \phi = 0,75$$

Para 4 bulones con dos planos de corte:

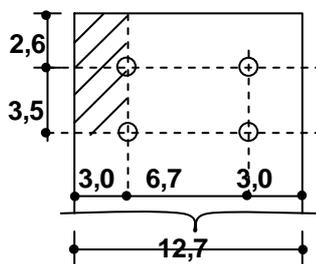
$$R_d = 4 \times 2 \times 0,75 \times 415 \times 0,71 \times 0,1 = 176,8 \text{ kN} > 155 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

• Aplastamiento de la chapa en los agujeros

Para alojar filetes de soldadura se adopta $b_p = D + 2,54 \text{ cm} = 12,7 \text{ cm}$ y un espesor $b_1 = 0,635 \text{ cm}$

Según la Sección 9.1.1.(e) por ser el espesor de chapa $> 3,2 \text{ mm}$ rige la Sección J.3.10. del Reglamento CIRSOC 301-2005.

Verificación paso y distancia al borde



$$s = 3,5 \text{ cm} > 3 \cdot d = 3 \times 0,95 = 2,85 \text{ cm} \quad \text{Verifica}$$

$$d_b = 2,6 \text{ cm} \text{ ó } 3,0 \text{ cm} > 1,75 d = 1,75 \times 0,95 = 1,67 \text{ cm} \quad \text{Verifica}$$

No se permite la deformación por lo que rige la expresión (J.3.2a)

$$\text{Por cada bulón: } R_{d1} = \phi 1,2 L_c t F_u 0,1 \quad \text{con } \phi = 0,75$$

Para 4 bulones:

$$R_{d1} = 2 \times 0,75 \times 1,2 \times (6,1 - 1,5 \times 0,95) \times 0,635 \times 370 \times 0,1 = 197,7 \text{ kN}$$

$$R_{d1} = 197,7 \text{ kN} > 155 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

Por cada bulón:

$$R_{d2} = \phi 2,4 d t F_u 0,1 \quad \text{con } \phi = 0,75$$

Para 4 bulones:

$$R_{d2} = 4 \times 0,75 \times 2,4 \times 0,95 \times 0,635 \times 370 \times 0,1 = 160,7 \text{ kN}$$
$$R_{d2} = 160,7 \text{ kN} > 155 \text{ kN}$$

VERIFICA

- **Resistencia de la chapa concéntrica a tracción**

Se aplica la Sección **J.5.2.** del Reglamento CIRSOC 301-2005

$$\text{Chapa} \quad b_p = 12,7 \text{ cm} \quad b_1 = 0,635 \text{ cm}$$

$$A_g = b_p b_1 = 12,7 \times 0,635 = 8,06 \text{ cm}^2$$

$$A_n = (b_p - 2d_{cal}) b_1 = (12,7 - 2 \times 1,24) \times 0,635 = 6,49 \text{ cm}^2$$

Según la Sección **J.2.5.** del Reglamento CIRSOC 301-2005:

$$A_n \leq 0,85 A_g = 6,851 \text{ cm}^2$$

VERIFICA

- (a) Fluencia de la sección bruta

$$R_d = \phi A_g F_y 0,1 = 0,9 \times 8,06 \times 235 \times 0,1 = 170,5 \text{ kN}$$

$$R_d = 170,5 \text{ kN} > 155 \text{ kN}$$

VERIFICA

- (b) Rotura en sección neta

$$R_d = \phi A_e F_u 0,1 = 0,75 \times 6,49 \times 370 \times 0,1 = 180,1 \text{ kN}$$

$$R_d = 180,1 \text{ kN} > 155 \text{ kN}$$

VERIFICA

- **Resistencia a rotura de bloque de corte. (Sección J.4.3. del Reglamento CIRSOC 301-2005)**

$$A_{gt} = 2 \times 3,0 \times 0,635 = 3,81 \text{ cm}^2$$

$$A_{gv} = 2 \times 6,1 \times 0,635 = 7,75 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 2 \times (3,0 - 0,5 \times 1,24) \times 0,635 = 3,023 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 2 \times (6,1 - 1,5 \times 1,24) \times 0,635 = 5,893 \text{ cm}^2$$

$$F_u A_{nt} (10)^{-1} = 370 \times 3,023 \times 0,1 = 111,8 \text{ kN} < 0,6 F_u A_{nv} (10)^{-1}$$
$$= 0,6 \times 370 \times 5,893 \times 0,1 = 130,8 \text{ kN}$$

Luego rotura por corte: caso (b) Sección **J.4.3.**

$$R_d = \phi [0,6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt}] (10)^{-1} = 0,75 [0,6 \times 370 \times 5,893 + 235 \times 3,81] \times 0,1 = 165,3 \text{ kN}$$

$$R_d = 165,3 \text{ kN} > 155 \text{ kN}$$

VERIFICA

- Como cada una de las dos chapas de nudo tienen un espesor igual a la mitad de la chapa concéntrica, adoptando para ellas el mismo ancho $b_p = 12,7 \text{ cm}$ quedan verificadas.

EJEMPLO N° 2

Tubo rectangular con costura unido a chapa de nudo con bulones pasantes y sometido a tracción.

Aplicación Capítulos 2, 3 y 9.

Enunciado:

Dimensionar el tubo rectangular con costura, la unión abulonada y la chapa de nudo. Se analizarán dos diseños de la unión abulonada (con 1 sola y con mas hileras de bulones). (Figura Ej.2-1).

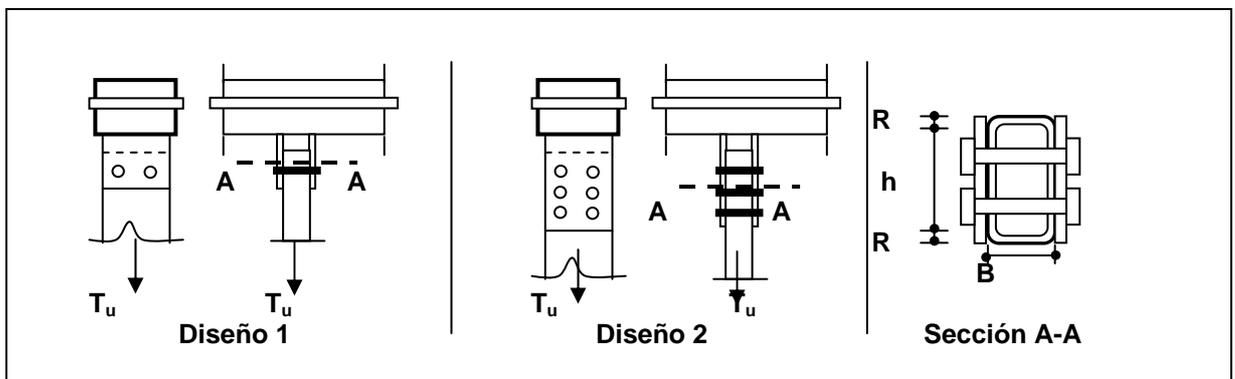


Figura Ej. 2-1. Esquema de Ejemplo 2.

Datos:

Fuerza de tracción requerida:	$T_u = 85 \text{ kN}$
Longitud del tensor:	$L_t = 3 \text{ m.}$
Tubo rectangular con costura:	$H, B = \text{a determinar}$ espesor $t = 2,5 \text{ mm}$
Chapas de nudo:	espesor $t_p = \text{a determinar}$ ancho $b_p = \text{a determinar}$
Bulones : Tipo 8.8 ISO	diámetro y cantidad = a determinar
Acero tubo:	s/ NM223-2000 Tipo A s/ IRAM-IAS U 500-2592/02 TE 20
Tubo rectangular:	$F_y = 269 \text{ MPa}$ $F_u = 310 \text{ MPa}$
Acero chapas: F 24	($F_y = 235 \text{ MPa}$ $F_u = 370 \text{ MPa}$)

(A) Análisis comparativo de diseño de unión extrema y diseño de la unión

En los tubos rectangulares de pequeño espesor con uniones abulonadas suele ser determinante para el diseño la unión extrema, fundamentalmente por el estado límite de aplastamiento de la chapa en los agujeros. El aplastamiento de la chapa suele ser crítico sobre todo cuando los bulones son pasantes.

En los tubos rectangulares traccionados que no están unidos por todas sus caras resulta importante la pérdida de eficiencia por el retardo de corte. Este fenómeno es mas importante cuando existe sólo una fila de bulones.

(A.1) Diseño 1

(a) Predimensionado del tubo

Se plantea una sola hilera de bulones con bulones **8.8 ISO**, agujeros normales (Tabla **J.3-3**, Sección **B.2.**, del Reglamento CIRSOC 301-2005); rosca excluida de los planos de corte.

$$d_b = 12 \text{ mm} = 1,2 \text{ cm} \quad A_b = 1,13 \text{ cm}^2 \quad d_{nom} = 1,4 \text{ cm} \quad d_{cal} = 1,6 \text{ cm}$$

Según la Sección **9.1.**, la resistencia a corte del bulón es la dada por la Sección **J.3.6.** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

Para 1 bulón y 1 sección de corte:

$$R_{d1} = \phi F_v A_b 0,1 \text{ (Sección J.3.6., del Reglamento CIRSOC 301-2005)}$$

$$F_v = 400 \text{ MPa} \quad (\text{Tabla J.3-2, del Reglamento CIRSOC 301-2005, rosca excluida del plano de corte}) \quad \phi = 0,75$$

$$R_{d1} = 0,75 \times 400 \times 1,13 \times 0,1 = 33,9 \text{ kN} \quad \text{(Ej.2-1)}$$

Cada bulón tiene 2 secciones de corte. Para $T_u = 85 \text{ kN}$, el número de bulones necesario es:

$$N^0_{nec} = 85 / 2 \times 33,9 = 1,26 \quad \text{Se adoptan dos bulones}$$

Para poder colocar dos bulones por cara con gramil mínimo $s = 3 d$ (Sección **J.3.3.**, del Reglamento CIRSOC 301-2005) y con distancia mínima al borde $d_b = 1,75 d$ (Sección **9.1.1.(d).**) resulta:

$$h_{min} = 2 \times 1,75 d + 3 d = 6,5 d = 6,5 \times 1,2 = 7,8 \text{ cm}$$

La altura mínima del perfil rectangular, siendo el radio de esquina externo $R = 2 t$; será:

$$H_{min} = h + 2 R = h + 2 \times 2 t = 7,8 + 4 \times 0,25 = 8,8 \text{ cm}$$

Se debe adoptar un tubo **RHS** de altura **H = 9 cm**

De medidas comerciales resulta adoptado:

$$\text{RHS } 90 \times 50 \times 2,5 \quad R = 0,5 \text{ cm} \quad H = 9 \text{ cm} \quad B = 5 \text{ cm} \quad h = 8 \text{ cm} \quad b = 4 \text{ cm}$$

(b) Aplastamiento de la chapa

- Para **bulones pasantes** se debe verificar el aplastamiento de la chapa según la Sección 9.1.1.(a)

$$\text{Para un bulón: } R_{d1} = \phi 1,8 F_y d t 0,1 \quad \phi = 0,75 \quad (\text{Exp. 9.1-1})$$

$$R_{d1} = 0,75 \times 1,8 \times 269 \times 1,2 \times 0,25 \times 0,1 = 10,89 \text{ kN}$$

Para la unión (4 secciones de aplastamiento)

$$R_d = 4 \times 10,89 = 43,6 \text{ kN} < T_u = 85 \text{ kN} \quad \text{NO VERIFICA (Ej.2-2)}$$

- **Aplastamiento de chapa en agujeros** para $t < 3,2 \text{ mm}$ (Sección 9.1.1.(e)) con deformación no permitida.

$$R_{d1} = \phi C_d m_f F_u d t 0,1 \quad \phi = 0,70 \quad (\text{Exp. 9.1-2a})$$

$$C_d = 4 - 0,1 (d / t) = 4 - 0,1 (1,2 / 0,25) = 3,52$$

$$C_d = 3,52 > 3 \quad \text{corresponde } C_d = 3 \quad (\text{Exp. 9.1-2b})$$

$$m_f = 0,60 \quad (\text{chapas en corte simple con una sola arandela})$$

$$R_{d1} = 0,70 \times 3 \times 0,60 \times 1,2 \times 0,25 \times 310 \times 0,1 = 11,72 \text{ kN}$$

Para la unión (4 agujeros con aplastamiento)

$$R_d = 4 \times 11,72 = 46,88 \text{ kN} < T_u = 85 \text{ kN} \quad \text{NO VERIFICA (Ej.2-3)}$$

De (Ej.2-2) y (Ej.2-3) se deduce que **el aplastamiento de la chapa es crítico y resulta totalmente desaprovechada la resistencia al corte de los bulones.**

(c) Eficiencia de la sección transversal del tubo. (Sección 2.1.1.(d))

$$A_e = A U \quad (\text{Exp. 2.1-1})$$

A = suma de las áreas netas de las caras por las que se transmite la fuerza (en este caso caras largas del rectángulo)

$$\text{Área bruta de una cara: } A_{gc} = [h + (R - 0,5 t) \pi / 2] t =$$

$$= [8 + (0,5 - 0,5 \times 0,25) \times \pi / 2] \times 0,25 = 2,147 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área neta de una cara: } A_{nc} = A_{gc} - 2 d_{cal} t = 2,147 - 2 \times 1,6 \times 0,25 = 1,347 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área neta total: } A = 2 A_{nc} = 2 \times 1,347 = 2,694 \text{ cm}^2$$

$$U = 2,5 n_1 (d / h) = 2,5 \times 2 \times (1,2 / 8) = 0,75 \quad (\text{Exp. 2.1-7})$$

Luego el área neta efectiva del tubo en tracción es:

$$A_e = A U = 2,694 \times 0,75 = 2,021 \text{ cm}^2$$

La relación con el área bruta del tubo:

$$A_e / A_g = 2,021 / 6,589 = \mathbf{0,31}$$

La eficiencia del tubo en tracción es muy reducida

(d) Conclusión:

Del análisis realizado en (b) y (c) resulta que el **Diseño 1** de la unión es **incorrecto** pues hace perder eficiencia al tubo y no verifica el aplastamiento de la chapa. La utilización de bulones de mayor diámetro o mayor número de bulones en la única línea incrementa la ineficiencia del tubo.

(A.2) Diseño 2:

(a) Predimensionado del tubo

Se plantean tres hileras de bulones con 2 bulones cada una. Bulones **8.8 ISO** ; agujeros normales (Tabla **9.1-1** y Sección **B.2.**, del Reglamento CIRSOC 301-2005); rosca excluida de los planos de corte.

$$d_b = 8 \text{ mm} = 0,8 \text{ cm} \quad A_b = 0,502 \text{ cm}^2 \quad d_{nom} = 0,9 \text{ cm} \quad d_{cal} = 1,1 \text{ cm}$$

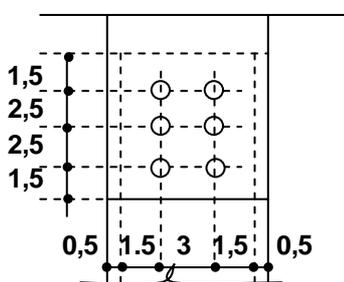
Verificación de distancias:

$$s = 2,5 \text{ cm} > 3 \times 0,8 = 2,4 \text{ cm}$$

$$d_b = 1,5 \text{ cm} > 1,75 \times 0,8 = 1,4 \text{ cm}$$

VERIFICA

(b) Aplastamiento de la chapa



- Para bulones pasantes se debe verificar el aplastamiento de la chapa según la Sección **9.1.1.(a)**

Para un bulón:

$$R_{d1} = \phi 1,8 F_y d t 0,1 \quad \phi = 0,75 \quad (\text{Exp. 9.1-1})$$

$$R_{d1} = 0,75 \times 1,8 \times 269 \times 0,8 \times 0,25 \times 0,1 = 7,263 \text{ kN}$$

Para la unión (12 secciones de aplastamiento)

$$R_d = 12 \times 7,263 = 87,15 \text{ kN} > T_u = 85 \text{ kN}$$

VERIFICA

- Aplastamiento de chapa en agujeros para $t < 3,2 \text{ mm}$ (Sección **9.1.1.(e)**) con deformación no permitida.

$$R_{d11} = \phi C_d m_f F_u d t 0,1$$

$$\phi = 0,70$$

(Exp. 9.1-2a)

$$C_d = 4 - 0,1 (d / t) = 4 - 0,1 (0,8 / 0,25) = 3,68$$

$$C_d = 3,68 > 3 \text{ corresponde } C_d = 3 \quad (\text{Exp. 9.1-2b})$$

$m_f = 0,60$ (chapas en corte simple con una sola arandela)

$$R_{d11} = 0,70 \times 3 \times 0,60 \times 0,8 \times 0,25 \times 310 \times 0,1 = \mathbf{7,812 \text{ kN}}$$

Para la unión (12 agujeros con aplastamiento)

$$R_{d1} = 12 \times 7,812 = 93,744 \text{ kN} > T_u = \mathbf{85 \text{ kN}} \quad \text{VERIFICA}$$

- $R_{d21} = \phi \eta L_c F_u t 0,1 \quad \phi = 0,70 \quad (\text{Exp. 9.1-2a})$

$$L_c = 6,5 - 2,5 \times 0,8 = 4,5 \text{ cm}$$

$$\eta = 1,2$$

$$R_{d21} = 0,70 \times 1,2 \times 4,50 \times 0,8 \times 0,25 \times 310 \times 0,1 = 23,436 \text{ kN}$$

Para la unión (4 líneas de desgarramiento)

$$R_{d2} = 4 \times 23,436 = 93,744 \text{ kN} > T_u = 85 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

(c) Resistencia de bulones:

Según la Sección 9.1. la resistencia a corte del bulón es la dada por la Sección J.3.6. del Reglamento CIRSOC 301-2005.

Para 1 bulón y 1 sección de corte

$$R_{d1} = \phi F_v A_b 0,1 \text{ (Sección J.3.6. del Reglamento CIRSOC 301-2005)}$$

$$F_v = 400 \text{ MPa (Tabla J.3-2, Reglamento CIRSOC 301-2005, rosca excluida del plano de corte)} \quad \phi = 0,75$$

$$R_{d1} = 0,75 \times 400 \times 0,502 \times 0,1 = 15,06 \text{ kN} \quad (\text{Ej.2-4})$$

Cada bulón tiene 2 secciones de corte. La unión tiene 6 bulones

La resistencia de diseño por corte del bulón de la unión es:

$$R_d = 6 \times 2 \times 15,06 = 180,72 \text{ kN} > T_u = 85 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

(d) Predimensionado y verificación del tubo a tracción

Para poder colocar dos bulones por cara con gramil mínimo $s = 3 d$ (Sección J.3.3., Reglamento CIRSOC 301-2005) y con distancia mínima a borde $d_b = 1,75 d$ (Sección 9.1.1.(d).) resulta:

$$h_{\min} = 2 \times 1,75 d + 3 d = 6,5 d = 6,5 \times 0,8 = \mathbf{5,2 \text{ cm}}$$

La altura mínima del perfil rectangular siendo el radio de esquina externo $R = 2 t$

$$H_{\min} = h + 2 R = h + 2 \times 2 t = 5,2 + 4 \times 0,25 = \mathbf{6,2 \text{ cm}}$$

Se debe adoptar un tubo **RHS** de altura **H = 7 cm**.

De las medidas comerciales resulta adoptado:

RHS 70x50x2,5 $A_g = 5,589 \text{ cm}^2$ $r_{\min} = 2 \text{ cm}$
 $R = 0,5 \text{ cm}$
 $H = 9 \text{ cm}$
 $B = 5 \text{ cm}$
 $h = 8 \text{ cm}$
 $b = 4 \text{ cm}$

Según la Sección **3.1.** las resistencias de diseño a tracción son:

- Para fluencia en la sección bruta:

$$R_d = \phi_t F_y A_g (10)^{-1} \quad \phi_t = 0,85 \quad (\text{Exp. 3.1-1})$$

$$R_d = 0,85 \times 269 \times 5,589 \times 0,1 = 127,8 \text{ kN} > T_u = 85 \text{ kN} \quad \mathbf{VERIFICA}$$

- Para rotura en la sección neta:

$$R_d = \phi_t F_u A_e (10)^{-1} \quad \phi_t = 0,70 \quad (\text{Exp. 3.1-2})$$

El área neta efectiva A_e se obtiene según la Sección **2.1.** por la Sección **B.3.** del Reglamento CIRSOC 301-2005 con \bar{x} obtenido para tubos rectangulares de la expresión (2.1-5) que también es aplicable a uniones abulonadas:

$$\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)}$$

$$A_e = A_n U \quad U = 1 - (\bar{x} / L) \leq 0,9 \quad (\text{Exp.2.1-2})$$

El área neta $A_n = 5,589 - 4 \times 1,1 \times 0,25 = 4,489 \text{ cm}^2$ $\bar{x} = \frac{5^2}{4(5+7)} = 0,521 \text{ cm}$

$L = 2 \times 2,5 = 5 \text{ cm}$ $U = 1 - (0,521 / 5) = 0,895$ $A_e = 4,489 \times 0,895 = 4,017 \text{ cm}^2$

$$R_d = 0,70 \times 310 \times 4,017 \times 0,1 = 87,17 \text{ kN} > T_u = 85 \text{ kN} \quad \mathbf{VERIFICA}$$

(B) Chapa de nudo

Se debe aplicar la Sección **J.5.2.** del Reglamento CIRSOC 301-2005

Son dos chapas. Se adopta un ancho de chapa $b_p = 7 \text{ cm}$

(1) **Fluencia por tracción en la sección bruta.** De la expresión (J.5-1)

$$A_{gnec} = \frac{T_u 10}{2 F_y \phi} = \frac{85 \times 10}{2 \times 235 \times 0,9} = 2,01 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ej.2-5})$$

(2) **Rotura por tracción en la sección neta**

$$A_n = (b_p - 2 d_{cal}) t_p = (7 - 2 \times 1,1) t_p = 4,8 t_p$$

$$\text{verificación } (4,8/7) = 0,69 < 0,85$$

VERIFICA

De la expresión (J.5-2):

$$A_{nnec} = \frac{T_u 10}{2 F_u \phi} = \frac{85 \times 10}{2 \times 370 \times 0,75} = 1,532 \text{ cm}^2$$

$$\text{El valor } A_e = 4,8 t_p = 1,532 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow t_{p \text{ min}} = 1,532 / 4,8 = 0,32 \text{ cm} \quad \text{Se adopta } t_p = 3,2 \text{ mm}$$

$$\text{Resulta } A_g = b_p t_p = 7 \times 0,32 = 2,24 \text{ cm}^2 > A_{gnec} \text{ de (Ej.2-5)}$$

VERIFICA

(3) **Rotura por bloque de corte.** (Sección **J.4.3.** del Reglamento CIRSOC 301-2005)

$$A_{gt} = 2 \times 2 \times 0,32 = 1,28 \text{ cm}^2$$

$$A_{gv} = 2 \times 6,5 \times 0,32 = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 2 \times (2,0 - 0,5 \times 0,8) \times 0,32 = 1,024 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 2 \times (6,5 - 2,5 \times 0,8) \times 0,32 = 2,88 \text{ cm}^2$$

$$F_u A_{nt} (10)^{-1} = 370 \times 1,024 \times 0,1 = 37,89 \text{ kN} < 0,6 F_u A_{nv} (10)^{-1} = \\ = 0,6 \times 370 \times 2,88 \times 0,1 = 63,94 \text{ kN}$$

Luego rotura por corte: caso (b) Sección **J.4.3.** para 2 chapas

$$R_d = 2 \phi [0,6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt}] (10)^{-1}$$

$$R_d = 2 \times 0,75 [0,6 \times 370 \times 2,88 + 235 \times 1,28] \times 0,1 = 141 \text{ kN} > 85 \text{ kN}$$

VERIFICA

- (4) Como cada una de las dos chapas de nudo tienen un espesor mayor al de la pared del tubo quedan verificados el aplastamiento de la chapa y el aplastamiento de la chapa en los agujeros.

(C) Verificación de la esbeltez global del tubo (Sección 2.3.)

$$(L_t / r_{\min}) = 300 / 2,0 = 150 < 300$$

(VERIFICA)

EJEMPLO Nº 3

Tubo rectangular con costura sometido a compresión y flexión disimétrica. Aplicación de los Capítulos 2, 4, 5 y 7.

Enunciado

Dimensionar la correa C_o de la estructura de cubierta indicada en la Figura Ej.3-1, que forma parte de una viga transversal de contraviento. Se considerarán las combinaciones de acciones críticas para estados límites últimos y de servicio. Se utilizará un tubo rectangular con costura.

- Acero tubo: s/ NM223-2000 Tipo A s/ IRAM-IAS U 500-2592/02 **TE 20**
- Tubo rectangular **$F_y = 269 \text{ MPa}$** **$F_u = 310 \text{ MPa}$**

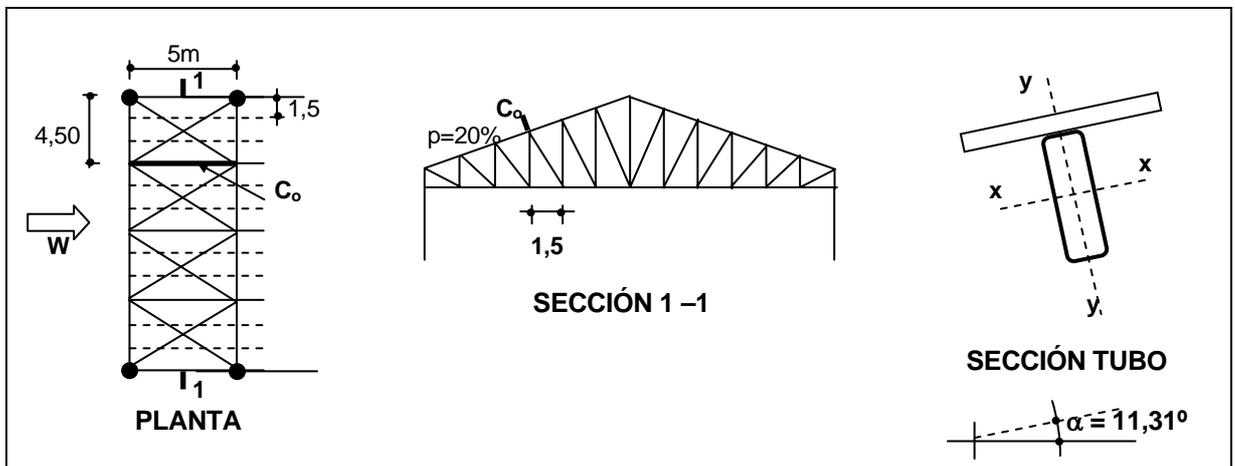


Figura Ej. 3-1. Esquema del Ejemplo 3.

- **Combinaciones para estados límites últimos** (s/Sección 1.5. del Reglamento CIRSOC 301-2005 – Sección A.4.2)

Comb. 1:	$1,2 D + 1,6 L_r - 0,8 W$	Comb. (A.4-3)
Comb. 2:	$1,2 D + 1,6 L_r$	Comb. (A.4-2)
Comb. 3:	$0,9 D - 1,5 W$	Comb. (A.4-6)

- **Combinaciones para estado límite de servicio** (s/Sección 1.5. del Reglamento CIRSOC 301-2005–Sección A-L.1)

$D + L_r$	Comb. (A-L 1-1)
-----------	-----------------

- **Acciones nominales**

Sobre cubierta:

$$D = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$L_r = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

$$W = 0,306 \text{ kN/m}^2 \text{ (en proyección horizontal)}$$

Sobre pared frontal: $W = 0,60 \text{ kN/m}^2$

Sobre correa:

$$D = 0,375 \text{ kN/m}$$

$$L_r = 0,75 \text{ kN/m}$$

$$W = 0,459 \text{ kN/m}$$

- **Acciones últimas sobre correa**

Combinación 1: $q_{ux} = 1,251 \text{ kN/m}$ $q_{uy} = 0,324 \text{ kN/m}$

$$M_{ux} = 3,909 \text{ kNm}$$
 $M_{uy} = 1,012 \text{ kNm}$ $P_u = - 14,1 \text{ kN}$
$$V_{ux} = 3,127 \text{ kN}$$
 $V_{uy} = 0,809 \text{ kN}$

Combinación 2: $q_{ux} = 1,618 \text{ kN/m}$ $q_{uy} = 0,324 \text{ kN/m}$

$$M_{ux} = 5,056 \text{ kNm}$$
 $M_{uy} = 1,012 \text{ kNm}$ $P_u = 0$
$$V_{ux} = 4,045 \text{ kN}$$
 $V_{uy} = 0,809 \text{ kN}$

Combinación 3: $q_{ux} = 0,358 \text{ kN/m}$ $q_{uy} = 0,066 \text{ kN/m}$

$$M_{ux} = 1,118 \text{ kNm}$$
 $M_{uy} = 0,207 \text{ kNm}$ $P_u = - 26,43 \text{ kN}$
$$V_{ux} = 0,895 \text{ kN}$$
 $V_{uy} = 0,166 \text{ kN}$

- **Acciones de servicio sobre correa**

Combinación crítica $q_{ux} = 1,103 \text{ kN/m}$ $q_{uy} = 0,221 \text{ kN/m}$

- **Hipótesis de arriostramiento horizontal:**

Por las dimensiones de las chapas de cubierta y el sistema de unión de las mismas a las correas se supone que **no se puede garantizar** en el tiempo que las chapas de cubierta arriostren lateralmente la correa. Por ello se adopta:

$$L_b = 5 \text{ m} \text{ y } (k L) = 1 \times 5 = 5 \text{ m}$$

(A) Predimensionado del tubo

Se realiza con la combinación de acciones 1 que se supone crítica.

Estando el tubo comprimido axialmente según la Sección 2.3. la máxima esbeltez resulta $(kL/r) = 200$

Luego $r_{\min} = (k L / 200) = 1 \times 550 / 200 = 2,50 \text{ cm}$

Con $(k L/r) = 200$ la tensión crítica de pandeo flexional F_{cr} resulta (Sección 4.2.):

De la expresión (4.2-4) $(k L/r) / \lambda_c = \pi \sqrt{E/F_y} =$

$$\pi = \sqrt{200000 / 269} = 85,66 \Rightarrow \lambda_c = (kL/r) / 85,66$$

Para $(k L/r) = 200$ $\lambda_c = (200) / 85,66 = 2,33 > 1,5$;

$$F_{cr} = \frac{0,877}{\lambda_c^2} F_y \quad (\text{Exp. 4.2-3})$$

$$F_{cr} = \frac{0,877}{2,33^2} 269 = 43,46 \text{ MPa}$$

El tubo está sometido a compresión y flexión disimétrica. Corresponde aplicar las expresiones de interacción de la Sección 7.1.

Si suponemos $(P_u / \phi_c P_n) = 0,35 > 0,20$

Corresponde
$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right] \leq 1,0 \quad (\text{Exp. 7.1.-1})$$

El segundo término de la Exp. (7.1-1) debe ser
$$\frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right] = 0,65 \quad (\text{Ej.3-1})$$

Si suponemos que se desarrolla el **momento plástico** (tubo compacto, Sección 5.5.1.)

$$M_{nx} = M_{px} = F_y Z_x (10)^{-3} \quad M_{ny} = M_{py} = F_y Z_y (10)^{-3}$$

Además $(M_{uy} / M_{ny}) = (1,012/3,909) \cong 0,26$

Para tubos con $(H/B) = 2$, se obtiene de las tablas $Z_y/Z_x \cong 0,6$

Reemplazando en (Ej. 3-1) resulta:

$$\frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux} 10^3}{\phi_b F_y Z_x} + \frac{M_{ux} 0,26 10^3}{\phi_b F_y Z_x 0,6} \right] = 0,65 \quad (\text{Ej.3-2})$$

Despejando de (Ej. 3-2):

$$\frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux} 10^3}{\phi_b F_y} \right] \left[1 + \frac{0,26}{0,60} \right] \frac{1}{0,65} = 1,96 \left[\frac{M_{ux} 10^3}{\phi_b F_y} \right] = 1,96 \left[\frac{3,909 \times 10^3}{0,85 \times 269} \right] = 33,51 \text{ cm}^3$$

Se busca en las tablas un tubo **RHS** con $H/B = 2$ y $r_y \cong 2,50$ con $Z > 33,51 \text{ cm}^3$

Se adopta: **RHS (60x120x3,2)** (radio exterior de esquina: $R = 2 t = 0,64 \text{ cm}$)

$$A_g = 10,847 \text{ cm}^2 \quad I_x = 199,23 \text{ cm}^4 \quad S_x = 33,21 \text{ cm}^3 \quad Z_x = 41,514 \text{ cm}^3 \quad r_x = 4,286 \text{ cm}$$

$$I_y = 67,633 \text{ cm}^4 \quad S_y = 22,544 \text{ cm}^3 \quad Z_y = 25,641 \text{ cm}^3 \quad r_y = 2,50 \text{ cm}$$

$$A_o = 66,145 \text{ cm}^2 \quad J = 161,294 \text{ cm}^4$$

(B) Resistencias de diseño del perfil adoptado

- **Resistencia de diseño a compresión**

- **Esbelteces locales** (Tabla (2.2-1)* ; Caso **2b**) $\Rightarrow \lambda_r = 580 / \sqrt{F_y} = 580 / \sqrt{269} = 35,36$

Mayor esbeltez en alma $\lambda_w = h / t = (H - 2R) / t$

$$= (12 - 2 \times 0,64) / 0,32 = 33,5 < \lambda_r \Rightarrow \mathbf{Q = 1}$$

- **Tensión crítica:**

De la Sección 4.2. :

$$(k L/r) = 1 \times 500 / 2,5 = 200 \quad \lambda_c = (200) / 85,66 = 2,33 > 1,5;$$

$$F_{cr} = \frac{0,877}{\lambda_c^2} F_y \quad (\text{Exp. 4.2-3})$$

$$F_{cr} = \frac{0,877}{2,33^2} 269 = 43,46 \text{ MPa}$$

- **Resistencia de diseño:**

$$R_d = \phi_c A_g F_{cr} (10)^{-1} = 0,80 \times 10,847 \times 43,45 \times 0,1 = \mathbf{37,72 \text{ kN}} \quad (\text{Ej.3-3})$$

- **Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje x-x**

- **Esbelteces locales** (Tabla (2.2-1)*

Ala: Caso **2b** $\lambda_p = 470 / \sqrt{F_y} = 470 / \sqrt{269} = 28,66$

$$\lambda_f = b / t = (B - 2R) / t = (6 - 2 \times 0,64) / 0,32 = 14,75 < \lambda_p$$

Alma: Caso **3b** $\lambda_p = 1565 / \sqrt{F_y} = 1565 / \sqrt{269} = 95,42$

$$\lambda_w = h / t = (H - 2R) / t = (12 - 2 \times 0,64) / 0,32 = 33,5 < \lambda_p$$

Por lo tanto resulta **Sección compacta**

- Estado límite de plastificación (Sección 5.1.1.):

$$M_{nx} = M_{px} = F_y Z_x (10)^{-3} = 269 \times 41,514 \times 0,001 = 11,167 \text{ kNm} \quad (\text{Exp. 5.1-1}) \quad (\text{Ej.3-4})$$

$$M_{px} = 11,167 < 1,5 M_{yx} = F_y S_x (10)^{-3} = 13,4 \text{ kNm}$$

- Estado límite de pandeo lateral (Sección 5.1.2.):

$$\text{Carga aplicada en el ala superior. } M_{rx} = F_y S_x (10)^{-3} = 8,933 \text{ kNm}$$

$$L_p = \frac{24 r_y}{M_{px}} \sqrt{J A_g} = \frac{24 \times 2,5}{11,167} \sqrt{161,294 \times 10,847} = 224,7 \text{ cm} \quad (\text{Exp.5.1-4b})^*$$

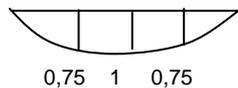
$$L_r = \frac{360 r_y}{M_{rx}} \sqrt{J A_g} = \frac{360 \times 2,5}{8,933} \sqrt{161,294 \times 10,847} = 4214 \text{ cm} \quad (\text{Exp.5.1-4b})^*$$

$$L_p < L_b = 500 \text{ cm} < L_r$$

Resulta aplicable:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \leq 1,5 M_y \quad (\text{Exp.5.1-2})$$

El diagrama de momentos es



$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} =$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 1}{2,5 \times 1 + 3 \times 0,75 + 4 \times 1 + 3 \times 0,75} = 1,136 \quad (\text{Exp.5.1-3})$$

Resulta:

$$M_n = 1,136 \left[11,167 - (11,167 - 8,933) \cdot \left(\frac{500 - 224,7}{4214 - 224,7} \right) \right] =$$

$$M_n = 12,51 \text{ kNm} > M_{px} = 11,167 \text{ kNm}$$

Luego $M_{nx} = M_{px} = 11,167 \text{ kNm} \quad (\text{Ej.3-5})$

- Resistencia de diseño: de (Ej.3-4) y (Ej.3-5) $M_{nx} = 11,167 \text{ kNm}$

$$M_{dx} = \phi_b M_{nx} = 0,85 \times 11,167 = 9,492 \text{ kNm} \quad (\text{Ej.3-6})$$

- **Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje y-y**

- **Esbelteces locales** (Tabla (2.2-1))* :

$$\text{Ala: Caso 2b} \quad \lambda_p = 470 / \sqrt{F_y} = 470 / \sqrt{269} = 28,66$$

$$\lambda_r = 580 / \sqrt{F_y} = 580 / \sqrt{269} = 35,36$$

$$\lambda_f = h / t = (H - 2R) / t = (12 - 2 \times 0,64) / 0,32 = 33,5 \quad \lambda_p < \lambda_f < \lambda_r$$

$$\text{Alma: Caso 3b} \quad \lambda_p = 1565 / \sqrt{F_y} = 1565 / \sqrt{269} = 95,42$$

$$\lambda_w = b / t = (B - 2R) / t = (6 - 2 \times 0,64) / 0,32 = 14,75 < \lambda_p \quad \lambda_w < \lambda_p$$

Por lo tanto resulta:

Sección no compacta

Según el Capítulo 5 (Secciones 5.1.1. y 5.1.2.) no es aplicable el estado límite de plastificación y tampoco el de pandeo lateral por tratarse de flexión alrededor del eje de menor inercia.

- **Estado límite de pandeo local** (Sección 5.1.3.)

$$\text{Resulta aplicable: } M_n = \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (\text{Exp.5.1-13})$$

$$M_{py} = F_y Z_y (10)^{-3} = 269 \times 25,641 \times 0,001 = 6,897 \text{ kNm}$$

$$M_{ry} = F_y S_y (10)^{-3} = 269 \times 22,544 \times 0,001 = 6,064 \text{ kNm}$$

Resulta:

$$M_{ny} = \left[6,897 - (6,897 - 6,064) \left(\frac{33,5 - 28,66}{35,36 - 28,66} \right) \right] = 6,295 \text{ kNm}$$

Luego

$$M_{ny} = 6,295 \text{ kNm}$$

- **Resistencia de diseño:** $M_{dy} = \phi_b M_{ny} = 0,85 \times 6,295 = 5,351 \text{ kNm} \quad (\text{Ej.3-7})$

(C) Verificación interacción axil y flexión (Capítulo 7, Sección 7.1.)

Combinación 1: $(P_u/\phi_c P_n) = 14,1 / 37,72 = 0,374 > 0,20$

Corresponde
$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right] \leq 1,0 \quad (\text{Exp. 7.1.-1})$$

$$\frac{14,1}{37,72} + \frac{8}{9} \left[\frac{3,909}{9,492} + \frac{1,012}{5,351} \right] = 0,91 < 1 \quad \text{VERIFICA}$$

Combinación 2: $P_u = 0$

Corresponde
$$\left[\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right] \leq 1,0 \quad (\text{Exp. 7.1.-2})$$

$$\left[\frac{5,056}{9,492} + \frac{1,012}{5,351} \right] = 0,73 < 1 \quad \text{VERIFICA}$$

Combinación 3: $(P_u/\phi_c P_n) = 26,43 / 37,72 = 0,70 > 0,20$

Corresponde
$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right] \leq 1,0 \quad (\text{Exp. 7.1.-1})$$

$$\frac{26,43}{37,72} + \frac{8}{9} \left[\frac{1,118}{9,492} + \frac{0,207}{5,351} \right] = 0,84 < 1 \quad \text{VERIFICA}$$

(D) Verificación a corte (Sección 5.2.(b))

Se verifica para la Combinación 2 que produce el mayor corte en ambas direcciones

Cara H :

$$V_{ux} = 4,045 \text{ kN} \quad h/t = 33,5 < 1100/\sqrt{F_y} = 1100/\sqrt{269} = 67,07$$

$$F_n = 0,6 F_y = 0,6 \times 269 = 161,4 \text{ MPa}$$

$$V_n = F_n A_w (10)^{-1} \quad (\text{Exp. 5.2-3})$$

$$A_w = 2 H t = 2 \times 12 \times 0,32 = 7,68 \text{ cm}^2$$

$$V_{nx} = 161,4 \times 7,68 \times 0,1 = 123,9 \text{ kN}$$

$$R_{dx} = \phi_v V_{nx} = 0,85 \times 123,9 = 105,3 \text{ kN} > V_{ux} = 4,045 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

Cara **B** :

$$V_{ux} = 0,809 \text{ kN} \quad b/t = 14,75 < 1100/\sqrt{F_y} = 1100/\sqrt{269} = 67,07$$

$$F_n = 0,6 F_y = 0,6 \times 269 = 161,4 \text{ MPa}$$

$$V_n = F_n A_w (10)^{-1} \quad (\text{Exp. 5.2-3})$$

$$A_w = 2 B t = 2 \times 16 \times 0,32 = 3,84 \text{ cm}^2$$

$$V_{ny} = 161,4 \times 3,84 \times 0,1 = 61,97 \text{ kN}$$

$$R_{dx} = \phi_v V_{nx} = 0,85 \times 61,97 = 52,67 \text{ kN} > V_{uy} = 0,809 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

(E) Verificación de flecha. Estado de servicio (s/Sección 1.5. del Reglamento CIRSOC 301-2005 – Sección A-L.1)

Combinación crítica:

$$q_{ux} = 1,103 \text{ kN/m} \quad q_{uy} = 0,221 \text{ kN/m}$$

$$f_x = \frac{5}{384} \frac{q_x L_x^4}{E I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,103 \times 500^4}{200\,000 \times 199,23} \cdot 0,1 = 2,25 \text{ cm}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \frac{q_y L_y^4}{E I_y} = \frac{5}{384} \frac{0,221 \times 500^4}{200\,000 \times 67,633} \cdot 0,1 = 1,32 \text{ cm}$$

Flecha total (aproximadamente vertical):

$$f_t = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{2,25^2 + 1,32^2} = 2,6 \text{ cm}$$

$$f_t = L / 192 \text{ aproximadamente igual a:}$$

$$f_{adm} \text{ (Tabla A-L.4-1 CIRSOC 301-2005)} = L/200 \quad \text{VERIFICA}$$

EJEMPLO N° 4

Viga reticulada plana de tubos rectangulares con costura. Uniones directas de barras de alma a cordones.

Aplicación de los Capítulos 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 9.

Enunciado

Dimensionar la viga **V** de la estructura indicada en la Figura **Ej.4-1**.

Acero tubo: s/ IRAM-IAS U 500-2592/02 **TE 22**

Tubo rectangular: $F_y = 225 \text{ MPa}$ $F_u = 363 \text{ MPa}$

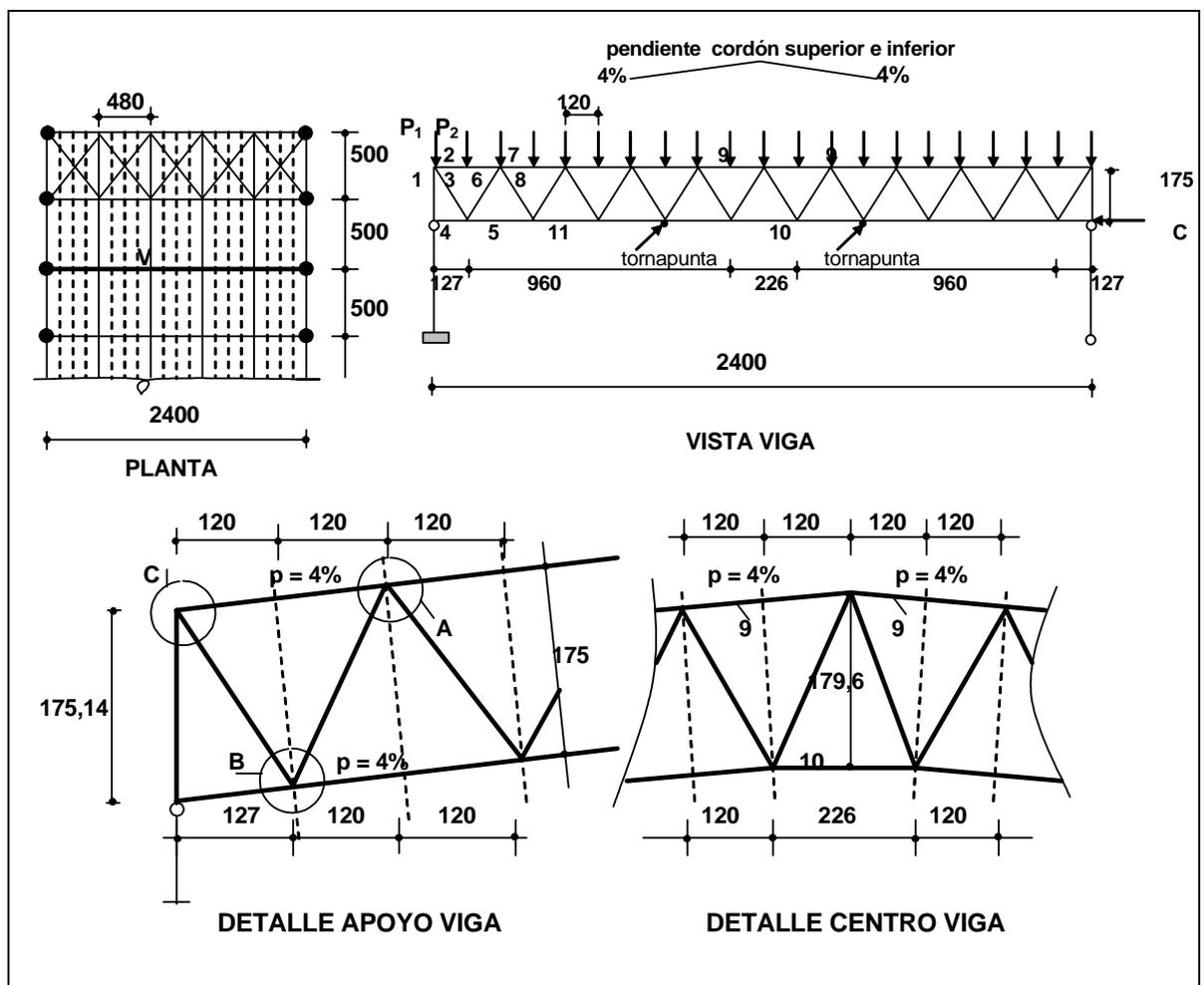


Figura Ej. 4-1. Esquema del Ejemplo 4.

(A) ACCIONES

La estructura está sometida a las siguientes acciones:

D : carga permanente

L_r : Mantenimiento de cubierta

W : Viento

Las acciones nominales se obtienen de los **Reglamentos CIRSOC 101-2005 e INPRES-CIRSOC 103-2005** correspondiente.

(B) SOLICITACIONES NOMINALES DE SECCIÓN Y SOLICITACIONES REQUERIDAS PARA COMBINACIÓN DE ACCIONES

Efectuado el análisis estructural según lo especificado en el Capítulo **C** del Reglamento CIRSOC 301-2005 (estructura isostática) se obtienen las solicitaciones de sección nominales y las resistencias requeridas para las combinaciones de acciones analizadas que se indican en el Cuadro 1.

Solamente se especifican las resistencias requeridas para las barras destacadas de la viga. Como criterio de diseño se adopta un tubo para todo el cordón superior, un tubo para todo el cordón inferior y un tubo para las diagonales.

Las cargas nominales en los nudos y en el cordón superior son las siguientes:

Fuerza	D (kN)	L _r (kN)	W (kN)
P₁	0,75	1,50	1,20
P₂	1,5	3,00	2,40
C	--	--	5,00

Las combinaciones de acciones analizadas son las que resultan críticas para alguna de las barras.

Se obtienen de la Sección **A.4.2.** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

Combinación 1	1,2 D + 1,6 L_r	CIRSOC 301 (A.4-3)
Combinación 2	0,9 D - 1,5 W	CIRSOC 301 (A.4-6)

CUADRO 1

Barra	D (nominal)			L _r (Nominal)			W (Nominal)			Combinación 1 (Sol. Requerida)			Combinación 2 (Sol. Requerida)		
	N kN	M kNm	V kN	N kN	M kNm	V kN	N kN	M kNm	V kN	N _u kN	M _u kNm	V _u kN	N _u kN	M _u kNm	V _u kN
1	-15			-30			+24			-66					
2	-9,79	0,45	0,75	-19,58	0,90	1,5	+15,66	0,72	1,2	-43,08	1,98	3,3			
3	+16,37			+32,74			-26,19			+72,03					
4	0			0			-5			0					
5	+18,52			+37,03			-34,62			+81,47					
6	-16,37			-32,74			+26,19			-72,03					
7	-26,25	0,45	0,75	-52,51	0,90	1,5	+42	0,72	1,2	-115,5	1,98	3,3			
8	+12,73			+25,48			-20,39			+56,05					
9	-50,94	0,45	0,75	-101,9	0,90	1,5	+81,5	0,72	1,2	-224,2	1,98	3,3			
10	+50,12			+100,3			-85,19			+220,7			-82,7		
11	+32,9			+65,8			-57,66			+144,8			-56,9		

En **negrita** se indican las solicitaciones requeridas que resultan críticas para el dimensionado de las barras. En la Combinación 2 no se indican aquellas solicitaciones requeridas que no resultan críticas.

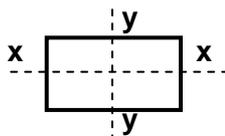
(C) CORDÓN SUPERIOR (Barras 2, 7, 9)

Al adoptar para todo el cordón un mismo tubo se dimensiona con las solicitaciones requeridas máximas que corresponden a la barra 9:

$$N_u = - 224,2 \text{ kN} \quad M_{ux} = 1,98 \text{ kNm} \quad V_{ux} = 3,3 \text{ kN}$$

Siendo mayor la longitud de pandeo fuera del plano, se adopta una forma rectangular acostada.

Se adopta un tubo rectangular con costura **100x140x4,76**



$$A_g = 21,358 \text{ cm}^2 \quad I_x = 346,93 \text{ cm}^4 \quad Z_x = 80,114 \text{ cm}^3 \quad r_x = 4,03 \text{ cm}$$

$$R = 2 \text{ t} \quad I_y = 583,46 \text{ cm}^4 \quad r_y = 5,227 \text{ cm}$$

• Resistencia de diseño a compresión (Sección 4.2.)

Esbeltez fuera del plano:

$$L_y = 480 \text{ cm} \quad k = 1 \quad kL_y/r_y = 480/5,227 = 91,83$$

Esbeltez en el plano:

$$L_x = 240,2 \text{ cm} \quad k = 1 \quad kL_x/r_x = 240,2/4,03 = 59,60$$

Mayor esbeltez fuera del plano:

$$\lambda_c = \frac{kL}{\pi \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{91,83}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{225}{200000}} = 0,98 \quad (\text{Exp.4.2-4})$$

Verificación de las esbelteces locales:

$$h = H - 2 R = 14 - 4 \times 0,476 = 12,096 \text{ cm}$$

$$h/t = 12,096/0,476 = 25,41 < \lambda_r$$

$$\lambda_r = 580/\sqrt{F_y} = 580/\sqrt{225} = 38,67 \text{ (Caso 2b, Tabla (2.2-1)*)}$$

Luego $Q = 1$

Para:

$$\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5 \quad F_{cr} = Q (0,658^{Q\lambda_c^2}) F_y = 1 \times 0,658^{0,98^2} \times 225 = 150,5 \text{ MPa} \quad (\text{Exp. 4.2-2})$$

La resistencia de diseño:

$$N_d = \phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g (10)^{-1} = 0,8 \times 150,5 \times 21,358 \times 0,1 = \mathbf{257,15 \text{ kN}} \quad (\text{Exp. 4.2-1})$$

- **Resistencia de diseño a flexión alrededor de eje x-x (Sección 5.1.)**

Esbeltez local ala:

$$h/t = 12,096/0,476 = 25,41 < \lambda_p$$

$$\lambda_p = 470/\sqrt{F_y} = 470/\sqrt{225} = 31,33 \quad (\text{Caso 2b, Tabla (2.2-1)*})$$

Esbeltez local alma:

$$b = B - 2R = 10 - 4 \times 0,476 = 8,096 \text{ cm}$$

$$b/t = 8,096/0,476 = 17 < \lambda_p$$

$$\lambda_p = 1565/\sqrt{F_y} = 1565/\sqrt{225} = 104,33 \quad (\text{Caso 3b, Tabla (2.2-1)*})$$

Por lo tanto resulta:

Sección compacta

$$M_{px} = F_y Z_x (10)^{-3} = 225 \times 80,114 \times 0,001 = 18,03 \text{ kNm} \quad (\text{Exp.5.1-1})$$

El pandeo lateral no es aplicable por tratarse de flexión alrededor del eje débil

- **Resistencia de diseño para el estado límite de plastificación:**

$$M_{dx} = \phi_b M_{nx} = \phi_b M_{px} = 0,85 \times 18,03 = \mathbf{15,32 \text{ kNm}}$$

• **Interacción axil y flexión. Verificación del tubo adoptado** (Sección 7.1.)

$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} = \frac{N_u}{N_d} = \frac{224,2}{257,15} = 0,872 > 0,2 \quad \text{Corresponde aplicar}$$

$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right] \leq 1,0 \quad (\text{Exp.7.1.-1})$$

$$\frac{224,2}{257,15} + \frac{8}{9} \left[\frac{1,98}{15,32} \right] = 0,987 < 1,0 \quad (\text{Ej.4-1}) \quad \text{VERIFICA}$$

• **Verificación al corte** (Sección 5.2.)

$$\text{Alma } b/t = 8,096/0,476 = 17 < 1100/\sqrt{F_y} = 1100/\sqrt{225} = 73,33$$

Luego

$$F_n = 0,6 F_y = 0,6 \times 225 = 135 \text{ MPa} \quad (\text{Exp. 5.2-5})^*$$

$$V_n = F_n A_w (10)^{-1} = F_n 2 B t (10)^{-1} \\ = 135 \times 2 \times 10 \times 0,476 \times 0,1 = 128,52 \text{ kN} \quad (\text{Exp. 5.2-3})$$

$$V_d = \phi_v V_n = 0,85 \times 128,52 = \mathbf{109,2 \text{ kN}} > V_u = 3,3 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

(D) CORDÓN INFERIOR (Barra 10)

Al adoptar para todo el cordón un mismo tubo se dimensiona con las solicitaciones requeridas máximas que corresponden a la barra 10.

En **Combinación 1:**

$$N_u = + 220,7 \text{ kN}$$

En **Combinación 2:**

$$N_u = - 82,7 \text{ kN}$$

Se adopta una forma cuadrada por razones de diseño de la unión con diagonales.

Se adopta un tubo cuadrado con costura **110x110x4**

$$A_g = 16,548 \text{ cm}^2 \\ I_x = I_y = 305,74 \text{ cm}^4 \\ r_x = r_y = 4,30 \text{ cm} \\ R = 2 \text{ t}$$

- **Verificación a tracción (Sección 3.1)**

Siendo un tubo sin uniones abulonadas es determinante el estado límite de fluencia en la sección bruta.

$$R_d = \phi_t P_n = \phi_t F_y A_g (10)^{-1}$$

$$R_d = 0,85 \times 225 \times 16,548 \times 0,1 = \mathbf{316,48 \text{ kN}} > N_u = 220,7 \text{ kN} \quad (\text{Exp. 3.1-1}) \quad \mathbf{VERIFICA}$$

- **Verificación a compresión (Sección 4.2.)**

Se colocan tornapuntas espaciales en la posición indicada en la Figura **Ej.4-1** para reducir la longitud de pandeo fuera del plano. Queda un tramo central de $L_1 = 7,06 \text{ m}$ y dos laterales de $L_2 = 8,48 \text{ m}$.

Para tramo con longitud de pandeo L_1 se considera la carga de barra **10** (central)

$$N_u = - 82,7 \text{ Kn}$$

Para tramo con longitud de pandeo L_2 se considera la carga de barra **11** (central)

$$N_u = - 56,9 \text{ kN}$$

- **Barra 10:** Esbeltez fuera del plano: $L_1 = 706 \text{ cm}$ $k = 1$ $kL_1/r_y = 706/4,30 = 164,2$

$$\lambda_c = \frac{kL}{\pi \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{164,2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{225}{200000}} = \mathbf{1,753} \quad (\text{Exp.4.2-4})$$

Verificación esbelteces locales $h = H - 2 R = 11 - 4 \times 0,4 = 9,4 \text{ cm}$

$$h/t = 9,4/0,4 = 23,5 < \lambda_r = 580/\sqrt{F_y} = 580/\sqrt{225} = 38,67 \quad (\text{Caso 2b, Tabla (2.2-1)*})$$

Luego $Q = 1$

$$\text{Para: } \lambda_c \cdot \sqrt{Q} > 1,5 \quad F_{cr} = (0,877/\lambda_c^2) F_y = (0,877/1,753^2) \times 225 = 64,21 \text{ MPa} \quad (\text{Exp. 4.2-2})$$

La resistencia de diseño:

$$N_d = \phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g (10)^{-1} = 0,8 \times 64,21 \times 16,548 \times 0,1 = \mathbf{85 \text{ kN}} > N_u = 82,7 \text{ kN} \quad \mathbf{VERIFICA}$$

-**Barra 11:** Esbeltez fuera del plano: $L_1 = 848 \text{ cm}$ $k = 1$ $kL_2/r_y = 848/4,30 = 197,2 < 200$

$$\lambda_c = \frac{kL}{\pi \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{197,2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{225}{200000}} = \mathbf{2,105} \quad (\text{Exp.4.2-4})$$

$Q = 1$

$$\text{Para: } \lambda_c \sqrt{Q} > 1,5 \quad F_{cr} = (0,877/\lambda_c^2) F_y = (0,877/2,105^2) \times 225 = 44,54 \text{ MPa} \quad (\text{Exp. 4.2-2})$$

La resistencia de diseño:

$$N_d = \phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g (10)^{-1} = 0,8 \times 44,54 \times 16,548 \times 0,1 = 59 \text{ kN} > N_u = 56,9 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

(E) DIAGONALES (barra 6)

La barra 6 es la diagonal de mayor fuerza axil de compresión. $N_u = - 72,03 \text{ kN}$

Se adopta por razones de diseño de nudos un tubo rectangular con costura **40x80x3,2**

$$A_g = 7,007 \text{ cm}^2 \quad r_x = 1,62 \text{ cm} \quad r_y = 2,80 \text{ cm} \quad R = 2t$$

Se verificará para la fuerza axil de compresión como barra y posteriormente se verificará con la resistencia de diseño de nudo.

- **Verificación a compresión (Sección 4.2.)**

Esbeltez en el plano: $L_x = 212,3 \text{ cm} \quad k = 0,75 \quad kL_x/r_x = 0,75 \times 212,3/1,62 = 98,3$

Esbeltez fuera del plano: $L_y = 212,3 \text{ cm} \quad k = 1,0 \quad kL_y/r_y = 1 \times 212,3/2,80 = 75,9$

Mayor esbeltez en el plano $\lambda_c = \frac{kL}{\pi \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{98,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{225}{200000}} = 1,05 \quad (\text{Exp. 4.2-4})$

Verificación esbelteces locales $h = H - 2R = 8 - 4 \times 0,32 = 6,72 \text{ cm}$

$h/t = 6,72/0,32 = 21 < \lambda_r = 580/\sqrt{F_y} = 580/\sqrt{225} = 38,67 \quad (\text{Caso 2b, Tabla (2.2-1)*})$

Luego **Q = 1**

Para: $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5 \quad F_{cr} = Q (0,658^{Q/\lambda_c^2}) F_y = 1 \times 0,658^{1,05^2} \times 225 = 141,83 \text{ MPa} \quad (\text{Exp. 4.2-2})$

La resistencia de diseño:

$$N_d = \phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g (10)^{-1} = 0,8 \times 141,83 \times 7,007 \times 0,1$$

$$N_d = 79,50 \text{ kN} > N_u = 72,03 \text{ kN}$$

VERIFICA

(F) MONTANTE (Barra 1)

$N_u = - 66 \text{ kN}$ (Combinación 1)

Se adopta por razones de diseño de nudos un tubo rectangular con costura **40x80x3,2**

$$A_g = 7,007 \text{ cm}^2 \quad r_x = 1,62 \text{ cm} \quad r_y = 2,80 \text{ cm} \quad R = 2t$$

Se verificará para la fuerza axil de compresión como barra y posteriormente se verificará con la resistencia de diseño de nudo.

• **Verificación a compresión.** (Sección 4.2.)

Esbeltez en el plano: $L_x = 175,2 \text{ cm}$ $k = 1,0$ $kL_x/r_x = 1 \times 175,2/1,62 = 108,2$

Esbeltez fuera del plano: $L_y = 175,2 \text{ cm}$ $k = 1,0$ $kL_y/r_y = 1 \times 175,2/2,80 = 62,6$

Mayor esbeltez en el plano $\lambda_c = \frac{kL}{\pi \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{108,2}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{225}{200000}} = 1,155$ (Exp. 4.2-4)

Verificación esbelteces locales $h = H - 2R = 8 - 4 \times 0,32 = 6,72 \text{ cm}$

$h/t = 6,72/0,32 = 21 < \lambda_r = 580/\sqrt{F_y} = 580/\sqrt{225} = 38,67$ (Caso 2b, Tabla (2.2-1)*)

Luego $Q = 1$

Para: $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5$ $F_{cr} = Q (0,658^{Q/\lambda_c^2}) F_y = 1 \times 0,658^{1,155^2} \times 225 = 128,73 \text{ MPa}$ (Exp 4.2-2)

La **resistencia de diseño**:

$N_d = \phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g (10)^{-1} = 0,8 \times 128,73 \times 7,007 \times 0,1 = 72,16 \text{ kN} > N_u = 66 \text{ kN}$ **VERIFICA**

(G) NUDOS SOLDADOS. RESISTENCIAS DE DISEÑO

(G.1.) NUDO A . (Cordón superior con diagonales) (Sección 9.4.3.)

Se verifica este nudo pues a él llega la mayor fuerza de compresión por la diagonal en la **Combinación 1.** (Cordón comprimido).

Se proyecta un nudo **K con espaciamiento** (Figura Ej.4-2)

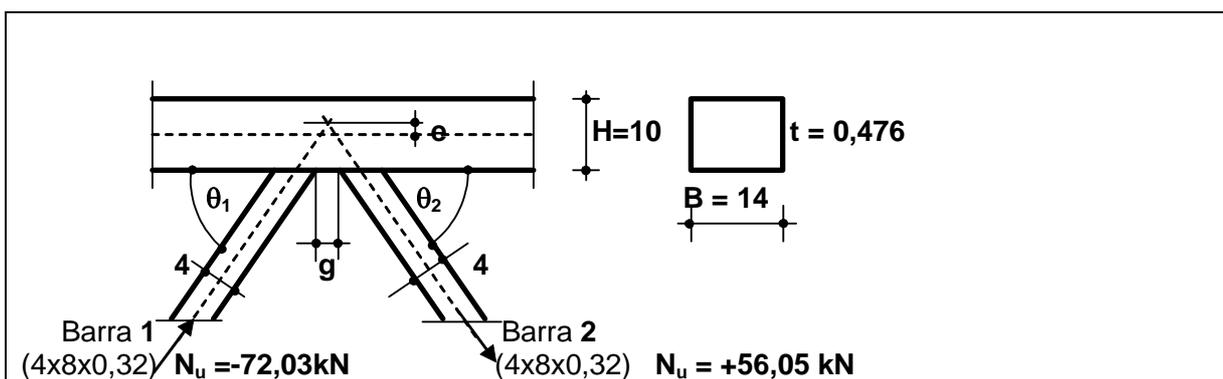


Figura Ej.4-2.

Parámetros:

$$\beta_1 = B_{b1}/B = 8/14 = 0,571 \quad \gamma = B/2t = 14/2 \times 0,476 = 14,706$$

$$\theta_1 = \theta_2 = \arctan(1,75/1,20096) = 55,54^\circ$$

Se define el **espaciamiento g** con la condición de cumplir el campo de validez de la Tabla **9.4-6**:

$$0,5 (1-\beta) \leq \frac{g}{B} \leq 1,5 (1-\beta)$$

$$0,5 (1-0,571) = 0,215 \leq (g/B) \leq 0,643 = 1,5 (1-0,571)$$

Luego $0,215 \times 14 = 3,00 \leq g \leq 9,00 = 14 \times 0,643$ Se adopta **g = 3,4 cm**

La excentricidad **e** es:

$$e = \left(\frac{H_{b1}}{2 \cdot \text{sen} \theta_1} + \frac{H_{b2}}{2 \cdot \text{sen} \theta_2} + g \right) \frac{\text{sen} \theta_1 \cdot \text{sen} \theta_2}{\text{sen}(\theta_1 + \theta_2)} - \frac{H}{2}$$

$$e = \left(\frac{4}{2 \cdot \text{sen} 55,54} + \frac{4}{2 \cdot \text{sen} 55,54} + 3,4 \right) \frac{\text{sen}^2 55,54}{\text{sen}(2 \times 55,54)} - \frac{10}{2} = 1,012 \text{ cm (positiva)}$$

Se verifica $-0,55 \leq \frac{e}{H} \leq 0,25$ $-0,55 < 1,012/10 = 0,1012 < 0,25$ **VERIFICA**

Por la excentricidad se genera un momento en el nudo:

$$M_n = (P_o - P_{op}) e \quad (\text{ver la Figura 9.4-2})$$

Lo mismo ocurre en todos los nudos del cordón superior. Según la Sección **9.3.4**. (Tabla **9.3-1**) pueden distribuirse entre las barras concurrentes y deberán ser considerados para el dimensionado de los cordones comprimidos. Dado la mayor rigidez del cordón con respecto a las diagonales se puede distribuir el Momento M_n entre las dos barras del cordón en partes iguales. Se debe verificar la barra **9** con el incremento de momento flexor generado por la excentricidad. Del análisis estructural para la Combinación **1** surge:

$$P_o = 204,5 \text{ kN} \quad P_{op} = 224,2 \text{ kN} \quad M_n = (224,2 - 204,5) \times 0,1012 = 0,20 \text{ kNm}$$

En cada barra del cordón comprimido $M_{ad} = M_n/2 = 0,20/2 = 0,10 \text{ kNm}$

En la expresión (**Ej.4-1**) de interacción para la barra **10** (Página 21)

$$\frac{224,2}{257,15} + \frac{8}{9} \left[\frac{(1,98 + 0,10)}{15,32} \right] = 0,993 < 1,0 \quad \text{VERIFICA}$$

• Verificación de otras **especificaciones generales** para el nudo. (Sección **9.4.1**.)

$$F_y = 225 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad F_y/F_u = 225/363 = 0,62 < 0,8 \quad t = 0,476 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm}$$

$$t_{b1} = 0,32 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm} \quad \theta = 55,54^\circ > 30^\circ \text{ ángulo entre barras adyacentes} = 68,92^\circ > 30^\circ$$

$$g = 3,4 \text{ cm} > 0,32 + 0,32 = 0,64 \text{ cm} = t_{b1} + t_{b2} \quad \text{VERIFICAN}$$

- **Verificación del campo de validez** (Tabla 9.4-6, nudo **K** con espaciamiento)

$$\beta_1 = 0,571 > 0,1 + 0,01 (B/t) = 0,1 + 0,01 \times (14/0,476) = 0,394$$

$$\beta_1 = 0,571 > 0,35$$

VERIFICA

$$B_{b1}/t_{b1} = 8/0,32 = 25 < 1,25 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,25 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 37,27 \quad B_{b1}/t_{b1} = 25 < 35$$

VERIFICA

$$H_{b1}/B_{b1} = 4 / 8 = 0,5$$

VERIFICA

$$B/t = 14/0,476 = 29,4 < 35$$

VERIFICA

- **Resistencia de diseño axil de nudo.** (Tabla 9.4-7, nudo **K** con espaciamiento)

Base : Plastificación de la cara del cordón

$$P_{dni} = 0,89 \frac{F_{yo} t^2}{\text{sen } \theta_i} \left[\frac{B_{b1} + B_{b2} + H_{b1} + H_{b2}}{4B} \right] \gamma^{0,5} Q_f \quad (\text{Exp.9.4-28})$$

$$P_{op} = 43,08 \text{ kN} \quad M_o = 1,98 + 0,5 \times (115,5 - 43,8) \times 0,01012 = 2,343 \text{ kNm} \quad (\text{barra 2 y barra 7})$$

$$S_o = 2 I_x / H = 2 \times 346,93 / 10 = 69,386 \text{ cm}^3$$

$$f_{op} = (10 P_{op} / A_{go}) + (10^3 M_o / S_o) = (10 \times 43,08 / 21,358) + (10^3 \times 2,343 / 69,386) = 53,94 \text{ MPa}$$

$$n_p = f_{op} / F_{yo} = 53,94 / 225 = 0,24 \quad (\text{positivo, compresión})$$

$$Q_f = 1,3 - (0,4 n_p / \beta) = 1,3 - (0,4 \times 0,24 / 0,571) = 1,13 > 1,0 \quad \text{corresponde } Q_f = 1,0$$

La (Exp. 9.4-28) queda:

$$P_{dn1} = 0,89 \frac{225 \times 0,476^2}{\text{sen } 55,54^\circ} \left[\frac{8 + 8 + 4 + 4}{4 \times 14} \right] \times 14,706^{0,5} \times 1 = 90,44 \text{ kN}$$

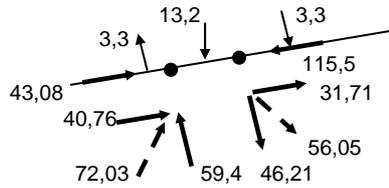
Base : Fluencia por corte del cordón:

$$P_{dni} = 0,57 \frac{F_{yo} A_{vo} (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_i} \quad (\text{Exp. 9.4-29})$$

$$A_{vo} = (2H + \alpha B) t \quad \alpha = \left[\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t^2}} \right]^{0,5} = \alpha = \left[\frac{1}{1 + \frac{4 \times 3,4^2}{3 \times 0,476^2}} \right]^{0,5} = 0,12$$

$$A_{vo} = (2 \times 10 + 0,12 \times 14) \times 0,476 = 10,32 \text{ cm}^2 \quad P_{dn1} = 0,57 \frac{225 \times 10,32 \times (10)^{-1}}{\text{sen } 55,54^\circ} = 160,5 \text{ kN}$$

- También se debe verificar en el espaciamiento la Resistencia axil del cordón



$$V_{uo} = 3,3 + 59,4 = 62,7 \text{ kN}$$

$$N_{uno} = -(43,08 + 40,76) = -83,84 \text{ kN (en el espaciamiento)}$$

$$P_{dno} \text{ (en esp.)} = 10^{-1} (A_{go} - A_{vo}) F_{yo} + 10^{-1} A_{vo} F_{yo} [1 - (V_{uo} / V_{dpo})^2]^{0,5}$$

$$V_{dpo} = 0,57 F_{yo} A_{vo} (10)^{-1} = 0,57 \times 225 \times 10,32 \times 0,1 = 132,35 \text{ kN}$$

$$P_{dno} = 0,1 \times (21,358 - 10,32) \times 225 + 0,1 \times 10,32 \times 225 [1 - (62,7 / 132,35)^2]^{0,5} = 452,84 \text{ kN}$$

$$P_{dno} = 452,84 \text{ kN} > N_{uno} = 83,84 \text{ kN}$$

VERIFICA

Base: Desigual distribución de fuerza

$$P_{dni} = 0,95 F_{y1} \cdot t_{b1} \cdot (10)^{-1} (2 H_{b1} - 4 t_{b1} + B_{b1} + b_{ei}) \quad (\text{Exp. 9.4-30})$$

$$b_{ei} = \frac{10}{(B/t) F_{yi} t_{bi}} B_{bi} \text{ pero } b_{ei} \leq B_{bi} \quad b_{ei} = \frac{10}{(14/0,476)} \cdot \frac{225 \times 0,476}{225 \times 0,32} \times 8 = 4,05 \text{ cm} < 8 \text{ cm}$$

$$P_{dni} = 0,95 \times 225 \times 0,32 \times 0,1 \times (2 \times 4 - 4 \times 0,32 + 8 + 4,05) = 128,4 \text{ kN}$$

Base: Punzonamiento (para $\beta \leq 1 - (1 / \gamma)$):

$$1 - (1 / \gamma) = 1 - (1 / 14,706) = 0,932 > \beta = 0,571 \Rightarrow \text{se debe verificar el punzonamiento}$$

$$P_{dn1} = 0,57 \frac{F_{yo} \cdot t \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} \cdot \left[\frac{2H_{bi}}{\text{sen } \theta_1} + B_{bi} + b_{ep} \right] \quad (\text{Exp. 9.4-31})$$

$$b_{ep} = \frac{10}{(B/t)} B_{bi} \text{ pero } b_{ep} \leq B_{bi} \quad b_{ep} = \frac{10}{(14/0,476)} \times 8 = 2,72 \text{ cm} < 8$$

$$P_{dn1} = 0,57 \frac{225 \times 0,476 \times (10)^{-1}}{\text{sen } 55,54^\circ} \cdot \left[\frac{2 \times 4}{\text{sen } 55,54^\circ} + 8 + 2,72 \right] = 151,2 \text{ kN}$$

• **Verificación de la Resistencia axil del nudo**

De los 4 Estados límites analizados la menor resistencia de diseño axil de nudo corresponde a la **Plastificación de la cara del cordón**:

$$P_{dn1} = -90,44 \text{ kN} > N_{u1} = 72,03 \text{ kN}$$

VERIFICA

Es de hacer notar que el nudo no disminuye la capacidad de la barra diagonal pues la resistencia de diseño axil de nudo (- 90,44 kN) es mayor que la resistencia de diseño axil de la barra diagonal (- 79,50 kN).

(G.2.) NUDO B . (Cordón inferior con diagonales) (Sección 9.4.3.)

Se verifica este nudo pues a él llega la mayor fuerza de compresión y la mayor fuerza de tracción por la diagonal en la **Combinación 1.** (Cordón traccionado).

Se proyecta un nudo **K con espaciamiento** (Figura Ej.4-3).

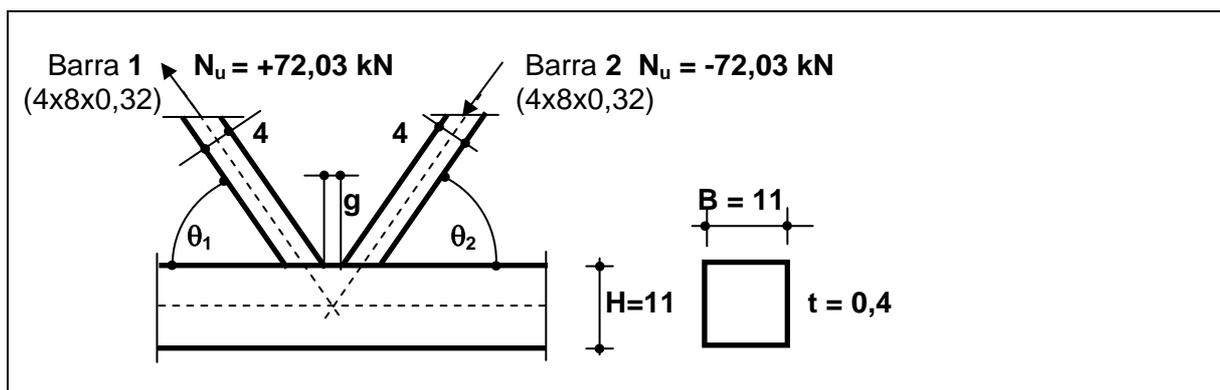


Figura Ej.4-3.

Parámetros: $\beta_1 = B_{b1}/B = 8/11 = 0,728$ $\gamma = B/2t = 11/2 \times 0,4 = 13,75$
 $\theta_1 = \theta_2 = \text{arco tang} (1,75/1,20096) = 55,54^\circ$

Se define el **espaciamiento g** con la condición de excentricidad **e = 0** y se verifica el cumplimiento del campo de validez de Tabla 9.4-8 (cordón de sección cuadrada).

El espaciamiento **g** es:
$$g = (e + H/2) \left[\frac{\text{sen}(\theta_1 + \theta_2)}{\text{sen}\theta_1 \cdot \text{sen}\theta_2} \right] - \frac{H_{b1}}{2 \cdot \text{sen}\theta_1} - \frac{H_{b2}}{2 \cdot \text{sen}\theta_2}$$

Con **e = 0**;
 $H_{b1} = H_{b2}$;
 $\theta_1 = \theta_2$

resulta:

$$g = (11/2) \left[\frac{\text{sen}(2 \times 55,54^\circ)}{\text{sen}^2 55,54^\circ} \right] - \frac{2 \times 4}{2 \text{sen} 55,54^\circ} = 2,70 \text{ cm}$$

$$0,5(1-\beta) \leq \frac{g}{B} \leq 1,5(1-\beta)$$

$$0,5(1-0,728) = 0,136 \leq (g/B) = 2,7/11 = 0,245 \leq 0,408 = 1,5 (1-0,571) \text{ VERIFICA}$$

- **Verificación de otras especificaciones generales** para el nudo. (Sección 9.4.1.)

$$F_y = 225 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad F_y/F_u = 225/363 = 0,62 < 0,8 \quad t = 0,4 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm}$$

$$t_{b1} = 0,32 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm} \quad \theta = 55,54^\circ > 30^\circ \quad \text{ángulo entre barras adyacentes} = 68,92^\circ > 30^\circ$$

$$g = 3,4 \text{ cm} > 0,32 + 0,32 = 0,64 \text{ cm} = t_{b1} + t_{b2}$$

VERIFICAN

- **Verificación campo de validez** (Tabla 9.4-8, **K** con espaciamiento, cordón cuadrado)

$$\beta_1 = 0,728 > 0,1 + 0,01 (B/t) = 0,1 + 0,01 \times (11/0,4) = 0,375$$

$$\beta_1 = 0,728 > 0,35$$

VERIFICA

$$B_{b1}/t_{b1} = 8/0,32 = 25 < 1,25 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,25 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 37,27$$

$$B_{b1}/t_{b1} = 25 < 35$$

VERIFICA

$$H_{b1}/B_{b1} = 4 / 8 = 0,5$$

VERIFICA

$$B/t = 11/0,4 = 27,5 < 35$$

VERIFICA

- **Resistencia de diseño axil de nudo.** (Tabla 9.4-9, nudo **K** con espaciamiento; cordón de sección cuadrada)

Base : Plastificación de la cara del cordón

$$P_{dni} = 0,89 \frac{F_{yo} t^2}{\text{sen } \theta_i} \cdot \left[\frac{B_{b1} + B_{b2}}{2B} \right] \gamma^{0,5} Q_f$$

(Exp.9.4-33)

$$P_{op} = 0 \text{ kN} \quad M_o = 0 \text{ kNm} \quad (\text{barra } 4) \quad Q_f = 1,0 \text{ (tracción)}$$

La (Exp. 9.4-33) queda:

$$P_{dn2} = 0,89 \frac{225 \times 0,4^2}{\text{sen } 55,54^\circ} \left[\frac{8+8}{2 \times 11} \right] \times 13,75^{0,5} \times 1 = 117,75 \text{ kN}$$

- **Verificación de la Resistencia axil del nudo**

La resistencia de diseño axil de nudo corresponde al estado límite de **Plastificación de la cara del cordón**:

$$P_{dn2} = - 117,75 \text{ kN} > N_{u2} = - 72,03 \text{ kN}$$

VERIFICA

Es de hacer notar que el nudo no disminuye la capacidad de la barra diagonal pues la resistencia de diseño axil de nudo (-117,75 kN) es mayor que la resistencia de diseño axil de la barra diagonal (- 79,50 kN).

(G.3.) NUDO C . (Cordón superior con montante) (Sección 9.4.3.)

Se proyecta un nudo **N con recubrimiento** (Figura Ej.4-4)

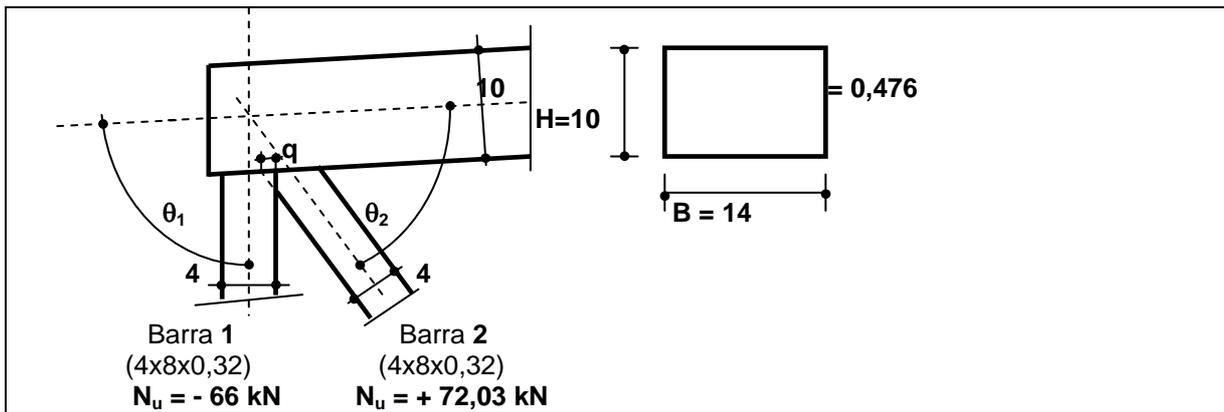


Figura Ej.4-4.

Parámetros: $\beta_1 = \beta_2 = B_{b1}/B = 8/14 = 0,571$ $\gamma = B/2t = 14/2 \times 0,476 = 14,706$
 $\theta_1 = 87,71^\circ$ $\theta_2 = \text{arco tang}(1,75/1,20096) = 55,54^\circ$

Se define el **recubrimiento q (-g)** con la condición de excentricidad $e = 0$ y se verifica el cumplimiento del campo de validez de la Tabla 9.4-6 (cordón de sección rectangular)

El recubrimiento **q** es: $-q = g = (e + H/2) \left[\frac{\text{sen}(\theta_1 + \theta_2)}{\text{sen}\theta_1 \times \text{sen}\theta_2} \right] - \frac{H_{b1}}{2 \cdot \text{sen}\theta_1} - \frac{H_{b2}}{2 \cdot \text{sen}\theta_2}$

Con $e = 0$;

$H_{b1} = H_{b2}$;

θ_1 y θ_2 según parámetros geométricos resulta :

$g = -q = (10/2) \left[\frac{\text{sen}(87,71^\circ + 55,54^\circ)}{\text{sen} 87,71^\circ \times \text{sen} 55,54^\circ} \right] - \frac{4}{2 \times \text{sen} 87,71^\circ} - \frac{4}{2 \times \text{sen} 55,54^\circ} = -0,80 \text{ cm (negativo)}$

$\lambda_{ov} = q/p$

$p = H_{b2}/\text{sen} \theta_2 = 4/\text{sen} 55,54^\circ = 4,85 \text{ cm}$

$\lambda_{ov} = 0,8/4,85 = 0,165 < 0,25$

NO VERIFICA

Luego se define el **recubrimiento q** con la condición de cumplir el campo de validez de la Tabla 9.4-6:

Luego: $25\% \leq \lambda_{ov} = (q/p) \times 100 \leq 100\%$; se adopta $\lambda_{ov} = 30\%$

$q = \lambda_{ov} p / 100 = 30 \times 4,85 / 100 = 1,46 \text{ cm}$

Se adopta q = -g = 1,5 cm $\lambda_{ov} = 100 \times 1,5 / 4,85 = 30,93 \%$

La excentricidad **e** es:

$$e = \left(\frac{H_{b1}}{2 \cdot \text{sen} \theta_1} + \frac{H_{b2}}{2 \cdot \text{sen} \theta_2} + g \right) \frac{\text{sen} \theta_1 \cdot \text{sen} \theta_2}{\text{sen}(\theta_1 + \theta_2)} - \frac{H}{2}$$

$$e = \left(\frac{4}{2 \cdot \text{sen} 87,71} + \frac{4}{2 \cdot \text{sen} 55,54} - 1,50 \right) \frac{\text{sen} 87,71 \times \text{sen} 55,54}{\text{sen}(87,71 + 55,54)} - \frac{10}{2} = -0,97 \text{ cm (negativa)}$$

Se verifica $-0,55 \leq \frac{e}{H} \leq 0,25$ $-0,55 < -0,97/10 = -0,097 < 0,25$ **VERIFICA**

Por la excentricidad se genera un momento en el nudo $M_n = (P_o - P_{op}) e$ (ver Figura 9.4-2)

Según la Sección 9.3.4. (Tabla 9.3-1) se puede distribuir entre las barras concurrentes y deberán ser considerados para el dimensionado de los cordones comprimidos. Dada la mayor rigidez del cordón con respecto a la diagonal, el Momento M_n va al cordón superior.

Se debe verificar la barra 2 con el momento flexor generado por la excentricidad.

En este caso $M_n = 43,08 \times 0,0097 = 0,42 \text{ kNm}$ $N_u = -43,08 \text{ kN}$

En el extremo del cordón no hay momento por la carga de la correa intermedia, por lo que los valores de axil y de momento flexor son menores a los de dimensionado del cordón (barra 9). No es necesaria ninguna verificación.

- **Verificación de otras especificaciones generales** para el nudo. (Sección 9.4.1.)

$$F_y = 225 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

$$F_y / F_u = 225 / 363 = 0,62 < 0,8 \quad \theta_1 = 87,71^\circ > 30^\circ \quad \theta_2 = 55,54^\circ > 30^\circ$$

$$\text{Ángulo entre barras adyacentes} = 36,75^\circ > 30^\circ$$

$$t = 0,476 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm}$$

$$t_{b1} = t_{b2} = 0,32 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm}$$

VERIFICAN

- **Verificación campo de validez** (Tabla 9.4-8, **N** con recubrimiento, cordón rectangular)

$$\beta_1 = 0,571 > 0,25$$

VERIFICA

$$B_{b2} / t_{b2} = 8 / 0,32 = 25 < 1,1 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{200000}{225}} = 32,80 \quad B_{b2} / t_{b2} = 25 < 35$$

VERIFICA

$$H_{b1} / B_{b1} = H_{b2} / B_{b2} = 4 / 8 = 0,5$$

VERIFICA

$$B / t = 11 / 0,4 = 27,5 < 40$$

VERIFICA

$$t_{bi} / t_{bj} = t_{b2} / t_{b1} = 0,32 / 0,32 = 1$$

$$B_{bi} / B_{bj} = B_{b2} / B_{b1} = 8/8 = 1 > 0,75$$

VERIFICA

- **Resistencia de diseño axil de nudo.** (Tabla 9.4-9, nudo N con recubrimiento; cordón de sección rectangular)
Se verifica la barra que recubre, o sea la diagonal (Barra 2, Figura Ej.4-4).(observación (a) de la Tabla 9.4-9)

Base: desigual distribución de fuerza $25\% \leq \lambda_{ov} = 30,93\% \leq 50\%$

$$P_{dni} = 0,95 F_{yi} t_{b1} (10)^{-1} [(\lambda_{ov} / 50) (2 H_{bi} - 4 t_{bi}) + b_{ei} + b_{e(ov)}]$$

$$b_{ei} = \frac{10}{(B/t)} \cdot \frac{F_{yo} \cdot t}{F_{yi} \cdot t_{bi}} \cdot B_{bi} \quad \text{pero} \quad b_{ei} \leq B_{bi} \quad b_{e(ov)} = \frac{10}{(B_{bj}/t_{bj})} \cdot \frac{F_{yj} \cdot t_{bj}}{F_{yi} \cdot t_{bi}} \cdot B_{bi} \quad \text{pero} \quad b_{e(ov)} \leq B_{bi}$$

$$b_{e2} = \frac{10}{(14/0,476)} \cdot \frac{225 \times 0,476}{225 \times 0,32} \times 8 = 4,046 \text{ cm} \quad b_{e(ov)} = \frac{10}{(8/0,32)} \cdot \frac{225 \times 0,32}{225 \times 0,32} \times 8 = 3,2 \text{ cm}$$

$$P_{dn2} = 0,95 \times 225 \times 0,32 \times (10)^{-1} [(30,93/50) (2 \times 4 - 4 \times 0,32) + 4,046 + 3,2] = 78 \text{ kN}$$

- **Verificación de la Resistencia axil del nudo**

La resistencia de diseño axil de nudo corresponde al estado límite de **desigual distribución de fuerza**:

$$P_{dn2} = + 78 \text{ kN} > N_{u2} = + 72,03 \text{ kN}$$

VERIFICA

Es de hacer notar que el nudo disminuye la capacidad de la barra diagonal pues la resistencia de diseño axil de nudo (+ 78 kN) es menor que la resistencia de diseño axil a tracción de la barra diagonal (0,85x7,007x225 = 134,00 kN).

Según la observación (a) de la Tabla 9.4-9 la eficiencia de la barra recubierta será menor o igual a la de la barra que recubre.

Eficiencia de la barra que recubre (barra 2, Figura Ej.4-4) $E_{f2} = \frac{\text{resistencia de diseño}}{\text{resistencia plástica}}$

$$E_{f2} = P_{dn2} / A_{g2} \cdot F_y \cdot (10)^{-1} = 78 / 7,007 \times 225 \times 0,1 = 0,495$$

La eficiencia de la barra recubierta (E_{f1}) deberá ser: $E_{f1} \leq 0,495$

Luego la **resistencia de diseño** de nudo del montante será como máximo

$$P_{d1} = E_{f1} \quad (\text{resistencia plástica})$$

$$P_{d1} = E_{f1} A_{g1} F_y (10)^{-1} = 0,495 \times 7,007 \times 225 \times 0,1 = 78 \text{ kN} > N_{u1} = 66 \text{ kN}$$

VERIFICA

(H) SOLDADURAS

Electrodo $F_{EXX} = 480 \text{ MPa}$

(H.1.) NUDO B

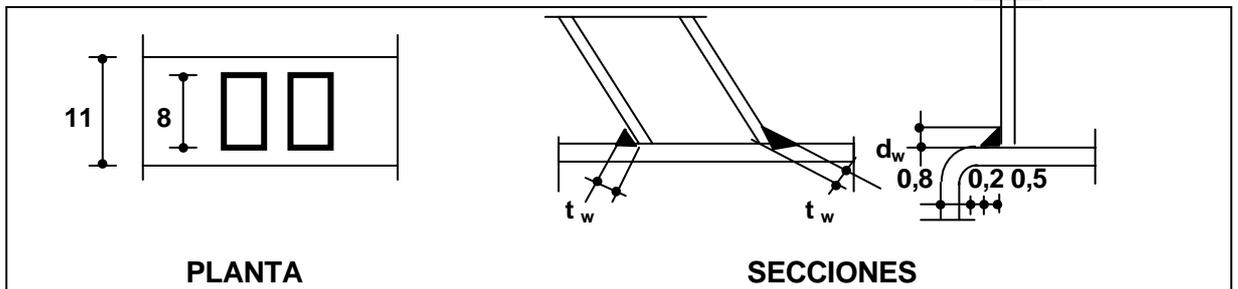


Figura Ej.4-5.

Se adoptan **soldaduras de filete en todo el perímetro del tubo de la diagonal**

Lado mínimo (Reglamento CIRSOC 301-2005, Sección **J.2.2.(b)** , Tabla **J.2-4**)

Espesor más grueso = 4 mm \Rightarrow $d_{w \text{ min}} = 3$ mm Se adopta $d_w = 5$ mm = **0,5 cm**

Espesor efectivo de garganta $t_w = 0,707 \cdot d_w = 0,707 \times 0,5 =$ **0,35 cm**

Según la Sección **9.2.4.** para carga transversal:

$$R_{dw} = \phi t L_e F_u 0,1 \quad \phi = 0,55 \quad (\text{Exp. 9.2-7})$$

Longitud efectiva en uniones soldadas entre tubos rectangulares en nudos **K con espaciamiento** (Sección **9.2.5**)

$$L_e = 2 H_b + 2 B_b \quad \text{para } \theta \leq 50^\circ \quad (\text{Exp. 9.2-11})$$

$$L_e = 2 H_b + B_b \quad \text{para } \theta \geq 60^\circ \quad (\text{Exp. 9.2-12})$$

Con $\theta = 55,54^\circ$ interpolando:

$$L_e = 2 H_b + 1,5 B_b = 2 \times 4 + 1,5 \times 8 = 20 \text{ cm}$$

La (Exp.9.2-7) resulta con $t = 0,32$ cm (espesor mas pequeño)

$$R_{dw} = 0,55 \times 0,32 \times 20 \times 363 \times 0,1 = 127,8 \text{ kN}$$

Adicionalmente al ser $t = 3,2$ mm la resistencia de diseño de la soldadura

$$R_{dw} = 0,60 \times 0,60 t_w L_e F_{EXX} 0,1 \quad (\text{Exp. 9.2-8})$$

$$R_{dw} = 0,60 \times 0,60 \times 0,35 \times 20 \times 480 \times 0,1 = \mathbf{120,96 \text{ kN}}$$
 (menor a 127,8 kN)

Luego

$$R_{dw} = \mathbf{120,96 \text{ kN}} > N_u = + 72,03 \text{ kN (barra 3)} \quad \mathbf{VERIFICA}$$

(H.2.) NUDO C

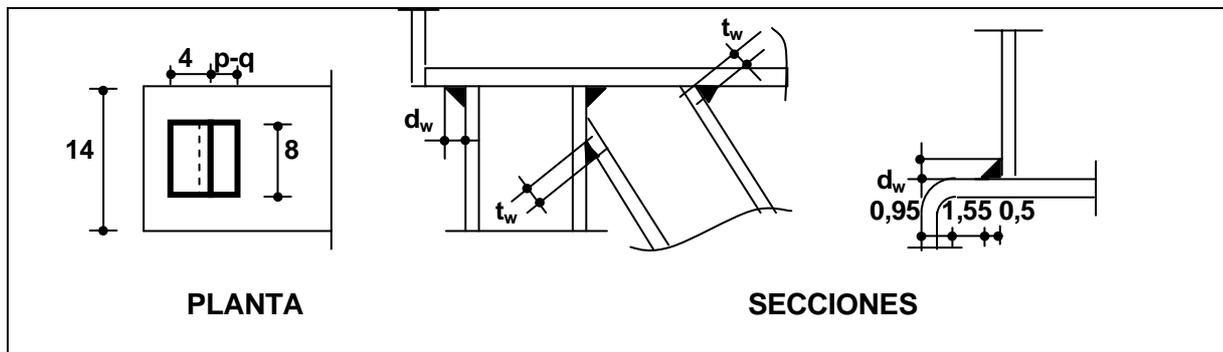


Figura Ej.4-6.

Se adoptan soldaduras de filete en **todo el perímetro del tubo del montante y en todo el perímetro del tubo de la diagonal que apoya sobre el cordón**. Además se une con soldadura de filete la diagonal al montante.

Lado mínimo (Reglamento CIRSOC 301-2005, Sección **J.2.2.(b)** , Tabla **J.2-4**)

Espesor más grueso = 4,76 mm \Rightarrow $d_w \text{ mín} = 3$ mm Se adopta $d_w = 5$ mm = **0,5 cm**

Espesor efectivo de garganta $t_w = 0,707 \cdot d_w = 0,707 \times 0,5 =$ **0,35 cm**

Según la Sección **9.2.4.** para carga transversal:

$$R_{dw} = \phi t L_e F_u \quad 0,1 \quad \phi = 0,55 \quad (\text{Exp. 9.2-7})$$

Longitud efectiva en unión soldada entre diagonal y cordón (ver la Figura **Ej.4-5**)

$$L_e = B_b + 2 (p-q) = 8 + 2 \times (4,85 - 1,5) = 14,7 \text{ cm}$$

La (Exp. 9.2-7) resulta con $t = 0,32$ cm (espesor mas pequeño)

$$R_{dw} = 0,55 \times 0,32 \times 14,7 \times 363 \times 0,1 = 93,9 \text{ kN}$$

Adicionalmente al ser $t = 3,2$ mm la **resistencia de diseño de la soldadura**

$$R_{dw} = 0,60 \times 0,60 t_w L_e F_{EXX} \quad 0,1 \quad (\text{Exp. 9.2-8})$$

$$R_{dw} = 0,60 \times 0,60 \times 0,35 \times 14,7 \times 480 \times 0,1 = \mathbf{88,90 \text{ kN}}$$
 (menor a 93,9 kN)

Luego

$$R_{dw} = \mathbf{88,9 \text{ kN}} > N_u = + 72,03 \text{ kN (barra 3)} \quad \mathbf{VERIFICA}$$

Para la unión soldada del montante, la longitud efectiva L_e es mayor y la resistencia requerida N_u es menor por lo que queda verificada.

(I) VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES (Condición de servicio)

Se deberá verificar la flecha máxima para la combinación de servicio **D + L_r**, considerando la deformación por corte de la viga reticulada y comparando con la flecha admisible dada en la Tabla **A-L.4-1** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

EJEMPLO N° 5

Viga reticulada “multiplano” de tubos circulares con costura. Uniones directas de barras de alma a cordones.

Aplicación Capítulos 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 9.

Enunciado

Dimensionar la viga V_1 de la estructura indicada en la Figura **Ej.5-1**. Las vigas V_1 soportan un piso de losetas de H° A° prefabricadas que es rígido en su plano. El destino del entrepiso es oficinas.

Acero del tubo circular:

s/ IRAM-IAS U 500-2592/02 **TE 22** $F_y = 216 \text{ MPa}$ $F_u = 363 \text{ MPa}$

(A) ANÁLISIS DE CARGA

- **Carga permanente** (por m^2):

loseta	$0,04 \times 1 \times 1 \times 24 \text{ kN/m}^3 =$	$0,96 \text{ kN}$
mortero	$0,02 \times 1 \times 1 \times 21 \text{ kN/m}^3 =$	$0,42 \text{ kN}$
piso linóleo =	<u>$0,05 \text{ kN}$</u>
total	g	= $1,43 \text{ kN/ m}^2$

$$\begin{aligned} \text{por viga de g} & \quad 1,43 \text{ kN/m}^2 \times 1,40 \text{ m} = 2,00 \text{ kN/m} \\ \text{peso propio viga} & \quad = \underline{0,35 \text{ kN/m}} \\ \mathbf{D} & \quad = \mathbf{2,35 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

$$\text{Carga por nudo en vista } D_2 = 0,80 \text{ m} \times 2,35 \text{ kN/m} = 1,88 \text{ kN} \quad D_1 = D_2/2 = 0,94 \text{ kN}$$

- **Sobrecarga:**

$$\text{de oficina} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{por viga } \mathbf{L} = 2,5 \times 1,40 = \mathbf{3,5 \text{ kN/m}}$$

$$\begin{aligned} \text{Carga por nudo en vista } L_2 & = 0,80 \text{ m} \times 3,5 \text{ kN/m} = 2,8 \text{ kN} \\ L_1 & = L_2/2 = 1,40 \text{ kN} \end{aligned}$$

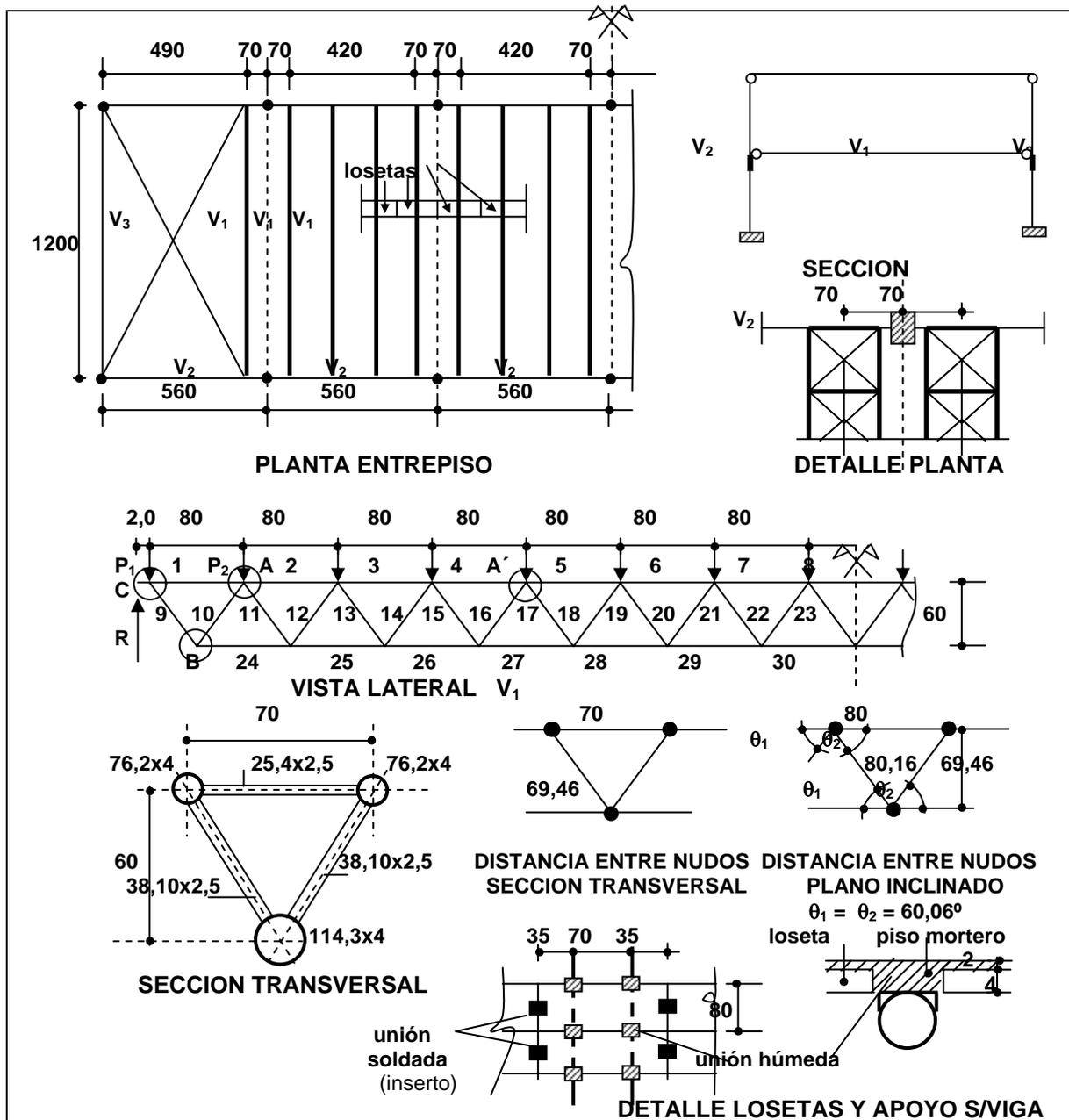


Figura Ej. 5-1. Viga reticulada "multiplano" de tubos circulares con costura.

(B) COMBINACIÓN DE ACCIONES

Combinación crítica: $1,2 D + 1,6 L$

Carga última por nudo en vista: $P_{u2} = 1,2 \times 1,88 + 1,6 \times 2,8 = 6,736 \text{ kN}$

$$P_{u1} = P_{u2} / 2 = 3,368 \text{ kN}$$

Carga última por nudo en cordón superior:

$$P'_{u2} = 6,736/2 = 3,368 \text{ kN}$$

$$P'_{u1} = P'_{u2}/2 = 1,684 \text{ kN}$$

Carga última distribuida en cordón superior = $P'_{u2}/0,80 = 3,368/0,8 = 4,21 \text{ kN/m}$

(C) SOLICITACIONES REQUERIDAS

$$R_u = 50,52 \text{ kN}$$

$$R_u / \text{cordon sup} = R_u/2 = 25,26 \text{ kN}$$

Solicitaciones requeridas en barras

Barra	P_u kN	M_u kNm	V_u kN	Barra	P_u kN	M_u kNm	V_u kN	Barra	P_u kN	M_u kNm	V_u kN
1	-15,72	0,51 / 0,41	2,84	24	+ 62,9	-	-	9-10	± 31,5	-	-
2	-44,91	0,41 / 0,18	1,96	25	+116,8	-	-	11-12	± 27,0	-	-
3	-69,61	0,18 / 0,24	1,76	26	+161,7	-	-	13-14	± 22,5	-	-
4	-89,81	0,24 / 0,23	1,70	27	+197,6	-	-	15-16	± 18,0	-	-
5	-105,6	0,23 / 0,23	1,684	28	+224,6	-	-	17-18	± 13,5	-	-
6	-116,8	0,23 / 0,23	1,684	29	+242,5	-	-	19-20	± 9	-	-
7	-123,5	0,23 / 0,23	1,684	30	+251,5	-	-	21-22	± 4,5	-	-
8	-125,8	0,23 / 0,23	1,684					23	0,0	-	-

(D) DIMENSIONADO CORDÓN INFERIOR

Barras traccionadas (Sección 3.1.)

Barra 30 $P_u = + 251,5 \text{ kN}$

Por ser cordón continuo el estado límite determinante es la fluencia en la sección bruta

De expresión (3.1-1):

$$A_{gnec} = 10 P_u / \phi_t F_y = 10 \times 251,5 / 0,9 \times 216 = 12,94 \text{ cm}^2$$

Se adopta:

$$\phi 114,3 \times 4$$

$$A_g = 13,86 \text{ cm}^2 > 12,94 \text{ cm}^2 = A_{gnec}$$

$$r = 3,902 \text{ cm}$$

(E) DIMENSIONADO CORDÓN SUPERIOR

- Barra más solicitada:

Barra 8

$$P_u = -125,8 \text{ kN (compresión)} \quad M_u = 0,23 \text{ kNm} \quad V_u = 1,684 \text{ kN}$$

Se adopta:

$$\begin{aligned} \phi &= 76,2 \times 4 \\ A_g &= 9,073 \text{ cm}^2 \\ r &= 2,557 \text{ cm} \\ S &= 15,565 \text{ cm}^3 \\ Z &= 20,873 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- Resistencia de diseño a compresión (Sección 4.2.)

En el plano: $L = 80 \text{ cm}$ $k = 1$ $\lambda = 80/2,557 = 31,3$

$$\lambda_c = \frac{31,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{31,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{216}{200000}} = 0,33 \quad (\text{Exp. 4.2-4})$$

Esbeltez local (Caso 1a, Tabla 2.2-1)

$$\lambda = D/t = 7,62/0,4 = 19,05 < \lambda_r = 0,114(E/F_y) = 0,114(200000/216) = 105,6 \Rightarrow Q = 1$$

$$\text{Para: } \lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5 \quad F_{cr} = Q (0,658^{Q/\lambda_c^2}) F_y = (0,658^{0,33^2}) \times 216 = 206,3 \text{ MPa} \quad (\text{Exp. 4.2-2})$$

$$R_d = \phi_c F_{cr} A_g (10)^{-1} = 0,85 \times 206,3 \times 9,073 \times 0,1 = 159,1 \text{ kN}$$

- Resistencia de diseño a flexión (Sección 5.1.)

Pandeo local (Caso 1b, Tabla 2.2-1):

$$\lambda = D/t = 7,62/0,4 = 19,05 < \lambda_p = 0,071(E/F_y) = 0,071(200000/216) = 65,74$$

Luego: aplicable sólo estado límite de plastificación

$$M_d = \phi_b M_p = \phi_b F_y Z (10)^{-3} = 0,9 \times 216 \times 20,873 \times 0,001 = 4,058 \text{ kNm}$$

- Interacción axil y flexión (Sección 7.1.)

$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} = \frac{125,8}{159,1} = 0,79 > 0,2$$

Luego
$$\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right] \leq 1,0 \quad (\text{Exp.7.1.-1})$$

$$\frac{125,8}{159,1} + \frac{8}{9} \left[\frac{0,23}{4,058} \right] = 0,84 < 1,0 \quad \text{VERIFICA}$$

• **Verificación en apoyo:**

$$M_u = 0,02 \times R_{uc, sup} = 0,02 \times 25,26 \text{ kN} = \mathbf{0,51 \text{ kNm}} \quad V_u = \mathbf{25,26 \text{ kN}}$$

- a flexión $M_d = \mathbf{4,058 \text{ kNm}} > M_u = 0,51 \text{ kNm} \quad \text{VERIFICA}$

- a corte (Sección 5.2.)

Por ser voladizo se adopta $L = 2L_v \ 2 \times 2 = 4 \text{ cm}$

$$L/D = 4/7,62 = 0,52 < \frac{3,2(E/F_y)^2}{(D/t)^{2,5}} = \frac{3,2(200000/216)^2}{(7,62/0,4)^{2,5}} = 1732$$

$$\lambda = 19,05 \leq \lambda_r = 287$$

$$V_d = \phi_v \ 0,3 F_y A_g (10)^{-1} \quad \phi_v = 0,9 \quad (\text{Exp. 5.2-2})$$

$$V_d = 0,9 \times 0,3 \times 216 \times 9,073 \times 0,1 = \mathbf{52,91 \text{ kN}} > V_u = 25,26 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

(F) DIAGONALES

Barra 10 $P_u = - \mathbf{31,50 \text{ kN}}$ (compresión)

Se adopta $\phi \mathbf{38,10 \times 2,5} \quad A_g = \mathbf{2,796 \text{ cm}^2} \quad r = \mathbf{1,262 \text{ cm}}$

- **Resistencia de diseño a compresión (Sección 4.2.)**

En el plano $L = 80,16 \text{ cm} \quad k = 0,75 \quad \lambda = 0,75 \times 80,16 / 1,262 = 47,7$

$$\lambda_c = \frac{47,7}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{47,7}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{216}{200000}} = 0,50 \quad (\text{Exp. 4.2-4})$$

Esbeltez local (Caso 1a, Tabla 2.2-1)

$$\lambda = D/t = 3,81/0,25 = 15,24 < \lambda_r = 0,114(E/F_y) = 0,114(200000/216) = 105,6 \Rightarrow \mathbf{Q = 1}$$

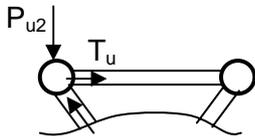
Para:

$$\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5 \quad F_{cr} = Q (0,658^{Q/\lambda_c^2}) F_y = (0,658^{0,50^2}) \times 216 = 194,5 \text{ MPa} \quad (\text{Exp.4.2-2})$$

$$R_d = \phi_c F_{cr} A_g (10)^{-1} = 0,85 \times 194,5 \times 2,796 \times 0,1 = 46,22 \text{ kN} > 31,50 \text{ kN}$$

VERIFICA

(G) MONTANTE HORIZONTAL



$$\text{Tracción } T_u = P_{u2} \cdot (35/60) = 3,368 \times (35/60) = + 1,97 \text{ kN}$$

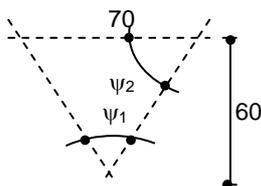
Se adopta ϕ 25,4x2,5 $A_g = 1,799 \text{ cm}^2$

Barra traccionada. (Sección 3.1.)

$$R_d = \phi_t F_y A_g (10)^{-1} = 0,9 \times 216 \times 1,799 \times 0,1 = 34,97 \text{ kN} > 1,97 \text{ kN} = T_u \quad \text{VERIFICA}$$

(H) NUDOS SOLDADOS . RESISTENCIAS DE DISEÑO

- Verificación campo de validez nudos multiplano (Tabla 9.4-5, Nudo K-K, Nudo T)



$$\psi_1 = [\text{arc tg } (35/60)] \times 2 = 60,51^\circ > 60^\circ$$

VERIFICA

$$\psi_2 = [\text{arc tg } (60/35)] = 59,75^\circ \cong 60^\circ$$

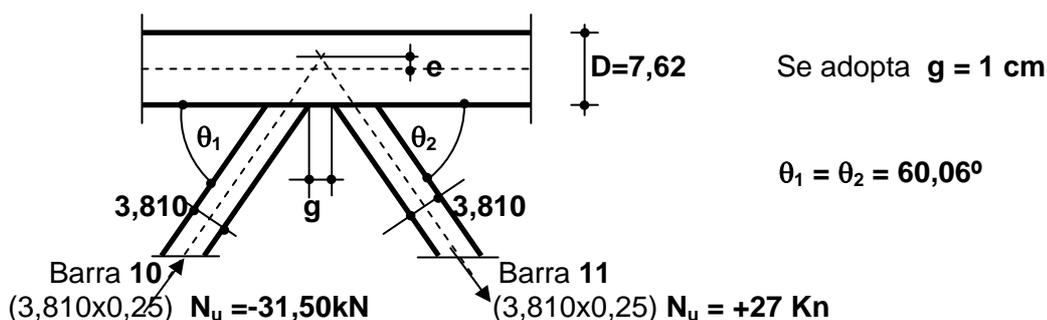
VERIFICA

(H.1.) NUDO A - NUDO A' (Sección 9.4-2)

(1) Cordón superior con diagonales (Plano inclinado)

Se adopta nudo K con espaciamento:

$$g_{\min} = t_{b1} + t_{b2} = 0,25 + 0,25 = 0,5 \text{ cm}$$



La excentricidad e es:

$$e = \left(\frac{D_{b1}}{2 \cdot \text{sen} \theta_1} + \frac{D_{b2}}{2 \cdot \text{sen} \theta_2} + g \right) \frac{\text{sen} \theta_1 \cdot \text{sen} \theta_2}{\text{sen}(\theta_1 + \theta_2)} - \frac{D}{2}$$

$$e = \left(\frac{3,81}{2 \cdot \text{sen} 60,06} + \frac{3,81}{2 \cdot \text{sen} 60,06} + 1,0 \right) \frac{\text{sen}^2 60,06}{\text{sen}(2 \times 60,06)} - \frac{7,62}{2} = \mathbf{0,875 \text{ cm}} \text{ (positiva)}$$

Se verifica $-0,55 \leq \frac{e}{D} \leq 0,25$ $-0,55 < 0,875/7,62 = 0,115 < 0,25$ **VERIFICA**

Por la excentricidad se genera un momento en el nudo $M_n = (P_o - P_{op}) e$ (ver la Figura 9.4-2).

Lo mismo ocurre en todos los nudos del cordón superior. Según la Sección 9.3.4. (Tabla 9.3-1) se pueden distribuir entre las barras concurrentes y deberán ser considerados para el dimensionado de los cordones comprimidos. Dado la mayor rigidez del cordón con respecto a las diagonales se puede distribuir el Momento M_n entre las dos barras del cordón en partes iguales. Se debería verificar la barra 8 con el incremento de momento flexor generado por la excentricidad. Del análisis estructural para las barras 7 y 8:

$$P_o = 123,5 \text{ kN} \quad P_{op} = 125,8 \text{ kN} \quad M_n = (125,8 - 123,5) \times 0,00875 = 0,02 \text{ kNm}$$

En cada barra del cordón comprimido $M_{ad} = M_n/2 = 0,02/2 = 0,01 \text{ kNm}$ (**despreciable**)

- **Verificación de otras especificaciones generales** para el nudo. (Sección 9.4.1.)

$$F_y = 216 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad F_y/F_u = 216/363 = 0,6 < 0,8 \quad t = 0,4 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm}$$

$$t_{b1} = 0,25 \text{ cm} = 0,25 \text{ cm} \quad \theta = 60,06^\circ > 30^\circ \quad \text{ángulo entre barras adyacentes} = 59,88^\circ > 30^\circ$$

$$g = 1,0 \text{ cm} > 0,25 + 0,25 = 0,50 \text{ cm} = t_{b1} + t_{b2}$$

VERIFICAN

- **Verificación del campo de validez** (Tabla 9.4-1, nudo K con espaciamiento)

$$\beta_1 = \beta_2 = D_{b1}/D = 3,81/7,62 = 0,50 \quad 0,2 < \beta_1 = 0,50 < 1,0 \quad \text{VERIFICA}$$

$$D_{b1}/2 t_{b1} = 3,81/2 \times 0,25 = 7,62 \quad 5 < D_{b1}/2 t_{b1} = 7,62 < 25 \quad \text{VERIFICA}$$

$$\gamma = D/2t = 7,62 / 2 \times 0,4 = 9,525 \quad 5 < \gamma = 9,525 < 25 \quad \text{VERIFICA}$$

- **Resistencia de diseño axil de nudo** (Tabla 9.4-2, nudo K con espaciamiento)

Precompresión de barra en Nudo A:

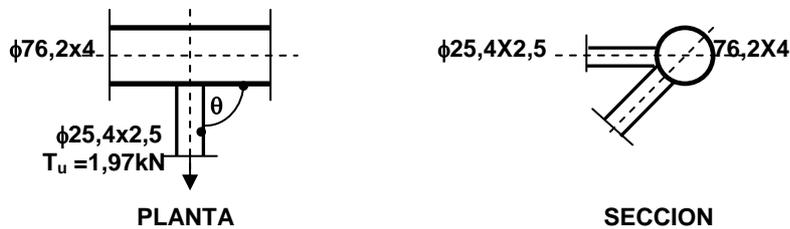
$$P_{op} = 15,72 \text{ kN} \quad M_o = 0,41 \text{ kNm}$$

$$f_o = (10 P_{op} / A_{go}) + (10^3 \cdot M_o / S_o) = 10 \times 15,72 / 9,073 + 1000 \times 0,41 / 15,565 = 43,70 \text{ MPa}$$

$$n_p = f_o / F_y = 43,70 / 216 = 0,21 \quad k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 1 - 0,3 \times 0,21 (1 + 0,21) = \mathbf{0,924}$$

(2) Cordón superior con montante (Plano horizontal)

Nudo T



• Verificación de las especificaciones generales para el nudo (Sección 9.4.1.)

$$F_y = 216 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad F_y/F_u = 216/363 = 0,6 < 0,8 \quad t = 0,4 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm}$$

$$t_{b1} = 0,25 \text{ cm} = 0,25 \text{ cm} \quad \theta = 90^\circ > 30^\circ \quad \text{VERIFICAN}$$

• Verificación del campo de validez (Tabla 9.4-1, nudo T)

$$\beta_1 = D_{b1}/D = 2,54/7,62 = 0,33 \quad 0,2 < \beta_1 = 0,33 < 1,0 \quad \text{VERIFICA}$$

$$D_{b1}/2 t_{b1} = 2,54/2 \times 0,25 = 5,08 \quad 5 < D_{b1}/2 t_{b1} = 5,08 < 25 \quad \text{VERIFICA}$$

$$\gamma = D/2t = 7,62 / 2 \times 0,4 = 9,525 \quad 5 < \gamma = 9,525 < 25 \quad \text{VERIFICA}$$

• Resistencia de diseño axil de nudo (Tabla 9.4-2, nudo T)

Precompresión: La mayor se da en el nudo entre barras 7 y 8

$$P_{op} = 123,5 \text{ kN} \quad M_o = 0,23 \text{ kNm}$$

$$f_o = (10 P_{op} / A_{go}) + (10^3 M_o / S_o) = 10 \times 123,5 / 9,073 + 1000 \times 0,23 / 15,565 = 150,89 \text{ MPa}$$

$$n_p = f_o / F_y = 150,89 / 216 = 0,70 \quad k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 1 - 0,3 \times 0,70 (1 + 0,70) = \mathbf{0,643}$$

- Estado límite de plastificación del cordón

$$P_{dn1} = \frac{F_{yo} \cdot t^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} \cdot (2,66 + 13,49 \beta^2) \cdot \gamma^{0,2} \cdot k_p \quad (\text{Exp. 9.4-4})$$

$$\text{Nudo Plano} \quad P_{dn1} = \frac{216 \times 0,4^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } 90^\circ} \cdot (2,66 + 13,49 \times 0,33^2) \times 9,525^{0,2} \times 0,643 = \mathbf{14,40 \text{ kN}}$$

- Estado límite de Punzonamiento por esfuerzo cortante

Se debe verificar por ser $D_{b1} = 2,54 \text{ m} < D - 2 t = 7,62 - 2 \times 0,4 = 6,82 \text{ cm}$

$$P_{dni} = 0,57 F_{yo} \cdot t \cdot (10)^{-1} \cdot \pi \cdot D_{bi} \left[\frac{1 + \sin \theta_i}{2 \sin^2 \theta_i} \right] \quad (\text{Exp. 9.4-9})$$

Para nudo **Plano** $P_{dn1} = 0,57 \times 216 \times 0,4 \times (10)^{-1} \times \pi \times 2,54 \times \left[\frac{1 + \sin 90^\circ}{2 \sin^2 90^\circ} \right] = 39,30 \text{ kN}$

- Es crítico el estado límite de plastificación del cordón

Resistencia de diseño axil de nudo Plano $P_{dn1} = 14,40 \text{ kN}$

Se observa que en esta caso la resistencia de nudo es menor que la resistencia de la barra (14,40 kN < 34,97 kN)

(3) Nudos multiplano (Tabla 9.4-5)

Los nudos del **Cordón superior** son nudos multiplanos donde en un plano es nudo **K con espaciamiento** (diagonales y cordón) y en el otro nudo **T** (montante horizontal y cordón).

Conservadoramente se adopta el factor de corrección C_{dm} correspondiente a los dos planos con nudos **K**.

Las resistencias de diseño de nudo para los nudos multiplano resultan:

$$P_{d1m} = C_{dm} \cdot P_{d1} \quad \text{con} \quad C_{mp} = 0,9$$

- Nudos **A** y **A'** (diagonal)

Para nudo A $P_{d1m} = 0,9 \times 44,99 = 40,49 \text{ kN} > P_u \text{ (barra 10)} = - 31,5 \text{ kN}$ **VERIFICA**

Para nudo A' $P_{d1m} = 0,9 \times 36,80 = 33,12 \text{ kN} > P_u \text{ (barra 16)} = - 18,0 \text{ kN}$ **VERIFICA**

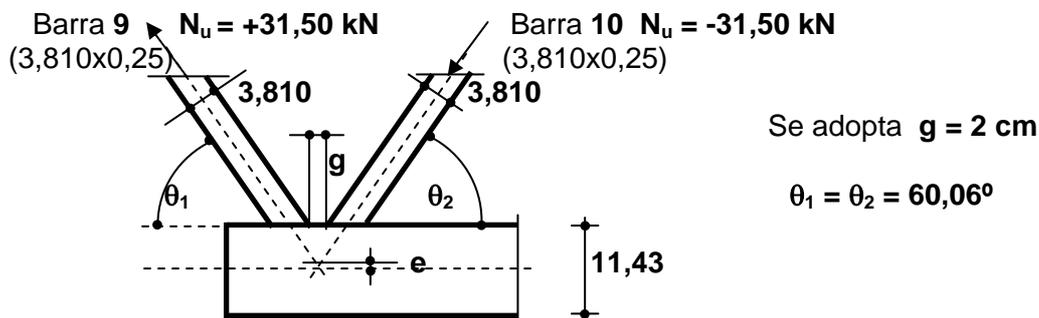
- Para todos los nudos para el **montante**

$P_{d1m} = 0,9 \times 14,40 = 12,96 \text{ kN} > P_u \text{ (montante)} = +1,97 \text{ k}$ **VERIFICA**

(H.2.) NUDO B (Cordón inferior con diagonales) (Sección 9.4-2)

En ambos planos se adopta nudo **K con espaciamiento**:

$$g_{min} = t_{b1} + t_{b2} = 0,25 + 0,25 = 0,5 \text{ cm}$$



La excentricidad e es:

$$e = \left(\frac{D_{b1}}{2 \cdot \text{sen} \theta_1} + \frac{D_{b2}}{2 \cdot \text{sen} \theta_2} + g \right) \frac{\text{sen} \theta_1 \cdot \text{sen} \theta_2}{\text{sen}(\theta_1 + \theta_2)} - \frac{D}{2}$$

$$e = \left(\frac{3,81}{2 \cdot \text{sen} 60,06} + \frac{3,81}{2 \cdot \text{sen} 60,06} + 2,0 \right) \frac{\text{sen}^2 60,06}{\text{sen}(2 \times 60,06)} - \frac{11,43}{2} = -0,16 \text{ cm (negativa)}$$

Se verifica:

$$-0,55 \leq \frac{e}{D} \leq 0,25$$

$$-0,55 < -0,16/11,43 = -0,014 < 0,25 \quad \text{VERIFICA}$$

Según la Sección 9.3.4. (Tabla 9.3-1) no es necesario considerar el momento para el dimensionado del cordón traccionado.

• **Verificación de otras especificaciones generales para el nudo** (Sección 9.4.1.)

$$F_y = 216 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa} \quad F_y/F_u = 216/363 = 0,6 < 0,8 \quad t = 0,4 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm}$$

$$t_{b1} = 0,25 \text{ cm} = 0,25 \text{ cm} \quad \theta = 60,06^\circ > 30^\circ \quad \text{ángulo entre barras adyacentes} = 59,88^\circ > 30^\circ$$

$$g = 2,0 \text{ cm} > 0,25 + 0,25 = 0,50 \text{ cm} = t_{b1} + t_{b2} \quad \text{VERIFICAN}$$

• **Verificación del campo de validez** (Tabla 9.4-1, nudo K con espaciamento)

$$\beta_1 = \beta_2 = D_{b1}/D = 3,81/11,43 = 0,333 \quad 0,2 < \beta_1 = 0,333 < 1,0 \quad \text{VERIFICA}$$

$$D_{b1}/2 \cdot t_{b1} = 3,81/2 \times 0,25 = 7,62 \quad 5 < D_{b1}/2 \cdot t_{b1} = 7,62 < 25 \quad \text{VERIFICA}$$

$$\gamma = D/2t = 11,43 / 2 \times 0,4 = 14,2875 \quad 5 < \gamma = 14,2875 < 25 \quad \text{VERIFICA}$$

• **Resistencia de diseño axil de nudo** (Tabla 9.4-2, nudo K con espaciamento)

- Estado límite de plastificación del cordón:

$k_p = 1$ (Cordón traccionado)

$$k_g = \gamma^{0,2} \left[1 + \frac{0,024 \gamma^{1,2}}{e^{(0,5g/t-1,33)} + 1} \right] \quad (\text{Exp. 9.4-11})$$

$$k_g = 14,2875^{0,2} \left[1 + \frac{0,024 \times 14,2875^{1,2}}{e^{(0,5 \times 2/0,4-1,33)} + 1} \right] = 1,9374$$

$$P_{dn2} = \frac{F_{yo} \cdot t^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} \cdot (1,71 + 9,69 \frac{D_{b1}}{D}) \cdot k_g \cdot k_p \quad (\text{Exp. 9.4-7})$$

$$\text{Nudo B (Plano)} \quad P_{dn2} = \frac{216 \times 0,4^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } 60,06^\circ} \cdot (1,71 + 9,69 \frac{3,81}{11,43}) \times 1,9374 \times 1,0 = 38,17 \text{ kN}$$

- Estado límite de Punzonamiento por esfuerzo cortante:

Se debe verificar por ser $D_{b1} = 3,81 \text{ cm} < D - 2t = 11,43 - 2 \times 0,4 = 10,63 \text{ cm}$

$$P_{dni} = 0,57 F_{yo} \cdot t \cdot (10)^{-1} \cdot \pi \cdot D_{bi} \left[\frac{1 + \text{sen } \theta_i}{2 \text{sen}^2 \theta_i} \right] \quad (\text{Exp. 9.4-9})$$

$$\text{Para nudo Plano} \quad P_{dni} = 0,57 \times 216 \times 0,4 \times (10)^{-1} \cdot \pi \times 3,81 \left[\frac{1 + \text{sen } 60,06^\circ}{2 \text{sen}^2 60,06^\circ} \right] = 73,26 \text{ kN}$$

- Es crítico el estado límite de plastificación del cordón

Resistencia de diseño de nudo B multiplano (Tabla 9.4-5)

$$C_{mp} = 0,9 \quad P_{d1m} = C_{dm} \cdot P_{d2}$$

$$P_{d2m} = 0,9 \times 38,17 = 34,35 \text{ kN} > P_u (\text{barra 10}) = - 31,5 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

Se observa que en esta caso la resistencia de nudo es menor que la resistencia de la barra (- 34,35 kN < - 46,22 kN)

(H.3.) NUDO C (Cordón superior con diagonal en apoyo) (Sección 9.4-2)

(1) Cordón superior con diagonal (Plano inclinado)

Se trata de un nudo Y

El cumplimiento de los parámetros geométricos del nudo dentro del campo de validez de la Sección 9.4.1. y de la Tabla 9.4-1 ya ha sido chequeado en los nudos anteriormente analizados.

En la Figura Ej. 5-2 se grafica el nudo y el apoyo en la Viga V_2 de borde (Ver Planta en Figura Ej.5-1).

La excentricidad del nudo es $e = 0$

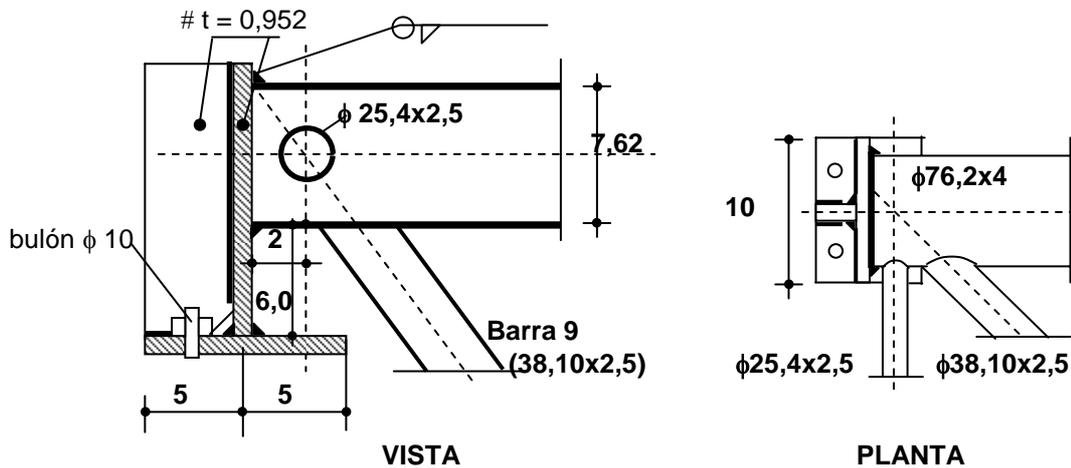


Figura Ej. 5-2.

- **Resistencia de diseño axil de nudo.** (Tabla 9.4-2, nudo Y)

$$\beta = D_b/D = 3,81/7,62 = 0,50$$

Precompresión de barra en Nudo C

$$P_{op} = 0 \text{ kN} \quad M_o = R_{uc.sup} \times 0,02 = 25,26 \times 0,02 = 0,51 \text{ kNm}$$

$$f_o = (10 P_{op} / A_{go}) + (10^3 M_o / S_o) = 1000 \times 0,51 / 15,565 = 32,70 \text{ MPa}$$

$$n_p = f_o / F_y = 32,70 / 216 = 0,15 \quad k_p = 1 - 0,3 n_p (1 + n_p) = 1 - 0,3 \times 0,15 (1 + 0,15) = \mathbf{0,948}$$

- **Estado límite de plastificación del cordón**

$$P_{dn1} = \frac{F_{yo} \cdot t^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } \theta_1} \cdot (2,66 + 13,49 \beta^2) \cdot \gamma^{0,2} \cdot k_p \quad (\text{Exp. 9.4-4})$$

$$\text{Nudo Plano } P_{dn1} = \frac{216 \times 0,4^2 \cdot (10)^{-1}}{\text{sen } 60,06^\circ} \cdot (2,66 + 13,49 \times 0,50^2) \times 9,525^{0,2} \times 0,948 = \mathbf{35,80 \text{ kN}}$$

- **Estado límite de Punzonamiento por esfuerzo cortante**

Se debe verificar por ser $D_{b1} = 3,81 \text{ cm} < D - 2t = 7,62 - 2 \times 0,4 = \mathbf{6,82 \text{ cm}}$

$$P_{dni} = 0,57 F_{yo} \cdot t \cdot (10)^{-1} \cdot \pi \cdot D_{bi} \left[\frac{1 + \text{sen } \theta_i}{2 \text{sen}^2 \theta_i} \right] \quad (\text{Exp.9.4-9})$$

$$\text{Para nudo Plano } P_{dn1} = 0,57 \times 216 \times 0,4 \times (10)^{-1} \times \pi \times 3,81 \times \left[\frac{1 + \sin 60,06^\circ}{2 \sin^2 60,06^\circ} \right] = 73,26 \text{ kN}$$

- Es crítico el estado límite de plastificación del cordón

$$\text{Resistencia de diseño axil de nudo Plano } \quad P_{dn1} = 35,80 \text{ kN}$$

Se observa que en esta caso la resistencia de nudo es menor que la resistencia de la barra (- 35,80 kN < 46,22 kN)

(2) Cordón superior con montante (Plano horizontal)

Nudo T . Ya determinada la Resistencia de diseño en Nudos A y A´

Nudo Plano: Es crítico el estado límite de plastificación del cordón

$$\text{Resistencia de diseño axil de nudo Plano } \quad P_{dn1} = 14,40 \text{ kN}$$

(3) Nudo multiplano (Tabla 9.4-5)

El nudo C es un nudo multiplano donde en un plano es nudo Y (diagonal y cordón) y en el otro nudo T (montante horizontal y cordón).

Se adopta como factor de corrección C_{dm} en los dos planos el de nudo T.

Las resistencias de diseño de nudo para el nudo multiplano resultan

$$P_{d1m} = C_{dm} \cdot P_{d1} \quad \text{con } C_{mp} = 1,0$$

$$\text{Para diagonal: } P_{d1m} = 1 \times 35,8 = 35,80 \text{ kN} > P_u \text{ (barra 9)} = + 31,5 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

$$\text{Para montante: } P_{d1m} = 1 \times 14,40 = 14,40 \text{ kN} > P_u \text{ (montante)} = + 1,97 \text{ kN} \quad \text{VERIFICA}$$

(I) UNIONES SOLDADAS

(I.1.) Diagonales a cordones

Las diagonales se unen a los cordones con soldadura de filete continua alrededor del perímetro de la diagonal. (Sección 9.2.4.):

$$P_u \text{ diagonal} = 31,5 \text{ kN}$$

- Resistencia de diseño para carga transversal:

$$R_d = \phi t L F_u (10)^{-1} \quad \phi = 0,55 \quad (\text{Exp. 9.2-7})$$

$$\text{Espesor de pared cordón } t_1 = 0,4 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor de pared diagonal } t_2 = 0,25 \text{ cm} \quad \text{menor espesor } t = 0,25 \text{ cm}$$

$$L = \text{perímetro de la diagonal} = \pi \cdot D_{b1} = \pi \times 3,81 = 11,97 \text{ cm}$$

$$R_d = 0,55 \times 0,25 \times 11,97 \times 363 \times 0,1 = 59,74 \text{ kN}$$

- Adicionalmente al ser $t_1 = 4 \text{ mm} > 3,2 \text{ mm}$

$$R_d = \phi_1 \cdot 0,60 t_w \cdot L \cdot F_{EXX} \cdot (10)^{-1} \quad \phi_1 = 0,60 \quad (\text{Exp. 9.2-8})$$

Con $F_{EXX} = 480 \text{ MPa}$ Se adopta $d_w = 0,4 \text{ cm}$ (Tabla **J.2-4**, Reglamento CIRSOC 301-2005)

$$t_w = 0,707 \times 0,4 = 0,28 \text{ cm} \quad R_d = 0,60 \times 0,60 \times 0,28 \times 11,97 \times 480 \times 0,1 = \mathbf{57,91 \text{ kN}}$$

Resulta $R_d = \mathbf{57,91 \text{ kN}} > P_u = 31,5 \text{ kN}$ **VERIFICA**

(I.2.) Cordón superior a chapa de apoyo (Ver la Figura Ej.5-2)

Se unen con soldadura de filete continua alrededor del perímetro del cordón. (Sección **9.2.4.**)

La unión soldada debe transmitir $V_u = \mathbf{25,26 \text{ kN}}$

- Resistencia de diseño para carga transversal:

$$R_d = \phi t L F_u (10)^{-1} \quad \phi = 0,55 \quad (\text{Exp. 9.2-7})$$

Espesor de pared de cordón $t_1 = 0,4 \text{ cm}$

Espesor de chapa de apoyo $t_2 = 0,952 \text{ cm}$ menor espesor $t = 0,4 \text{ cm}$

$L = \text{perímetro del cordón} = \pi D = \pi \times 7,62 = 23,94 \text{ cm}$

$$R_d = 0,55 \times 0,40 \times 23,94 \times 363 \times 0,1 = 191,18 \text{ kN}$$

- Adicionalmente al ser $t_1 = 4 \text{ mm} > 3,2 \text{ mm}$

$$R_d = \phi_1 \cdot 0,60 t_w L F_{EXX} (10)^{-1} \quad \phi_1 = 0,60 \quad (\text{Exp. 9.2-8})$$

Con $F_{EXX} = 480 \text{ MPa}$ Se adopta $d_w = 0,5 \text{ cm}$ (Tabla **J.2-4**, Reglamento CIRSOC 301-2005)

$$t_w = 0,707 \times 0,5 = 0,35 \text{ cm} \quad R_d = 0,60 \times 0,60 \times 0,35 \times 23,94 \times 480 \times 0,1 = \mathbf{144,7 \text{ kN}}$$

Resulta $R_d = \mathbf{144,7 \text{ kN}} > V_u = 25,26 \text{ kN}$ **VERIFICA**

(J) VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES (Condición de servicio)

Se deberá verificar la flecha máxima para la combinación de servicio **D + L** considerando la deformación por corte de la viga reticulada y comparando con la flecha admisible dada en la Tabla **A-L.4-1** del Reglamento CIRSOC 301-2005.

