

MARZO 2023



PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE VIGAS I CON ALAS DE SECCIÓN VARIABLE

ANGEL MANRIQUE
INGENIERO CIVIL ESPECIALISTA EN
ESTRUCTURAS

STEEL DESIGN 04

INDICE

03

INTRODUCCIÓN

03

OBJETIVO

03

BASES PARA EL DISEÑO

04

CALIDAD DE LOS MATERIALES

04

GEOMETRÍA DE LA SECCION TRANSVERSAL

06

ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

06

PESO POR UNIDAD DE LONGITUD

07

MOMENTOS DE INERCIA DE LA SECCIÓN

12

RADIO DE GIRO

12

MÓDULO DE SECCIÓN

14

CONSTANTES TORSIONALES

16

RESUMEN DE PARAMETROS GEOMÉTRICOS

01 INTRODUCCIÓN

Los perfiles IPN son laminados con una sección en forma de doble T o de I mayúscula. También se le conoce como sección en I con alas inclinadas. Se nombra con las letras IPN y un número a continuación que indica la altura total nominal del perfil en milímetros.

El interior de las alas tienen una inclinación del 14% en comparación con la exterior, por lo que, el espesor de las alas decrece hacia los bordes. Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas y el borde exterior con arista viva.

Las vigas IPN por ser más robustas y pesadas han perdido protagonismo frente al perfil IPE de alas de sección constante. Son muy utilizadas sobre todo en puentes por poseer una geometría ideal para ser utilizada en exteriores por sus alas inclinadas que evitan la acumulación de polvo y agua que puede generar problemas de corrosión en la viga. Además, que son secciones mucho más robustas que permiten cubrir grandes luces con una disminución significativa de las vibraciones.

02 OBJETIVO

El presente documento está referido al cálculo de las propiedades geométricas de perfiles I de alma llena con alas de sección variable tipo IPN

03 BASES PARA EL DISEÑO

Documentos Técnicos

1. STEEL DESIGN GUIDE 9. AISC 2003. Torsional Analysis of Structural Steel Members

04 CALIDAD DE LOS MATERIALES

4.1 ACERO ESTRUCTURAL

Peso unitario del acero $\gamma_a := 7850 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

05 GEOMETRÍA DE LA SECCION TRANSVERSAL

5.1. DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Tipo de perfil	IPN300
----------------	--------

Altura total de del perfil	$h_{ipn} = 300 \text{ mm}$
Ancho del ala del perfil	$b_{fipn} = 125 \text{ mm}$
Espesor del ala del perfil	$t_{fipn} = 16.2 \text{ mm}$
Espesor del alma del perfil	$t_{wipn} = 10.8 \text{ mm}$
Radio de filete	$r_{ipn1} = 10.8 \text{ mm}$
Radio de filete en ala	$r_{ipn2} = 6.5 \text{ mm}$

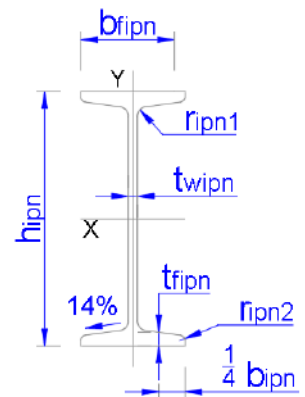


Figura 1. Geometría

5.2. DISCRETIZACIÓN DEL AREA QUE COMPONEN LAS ALAS Y ALMA

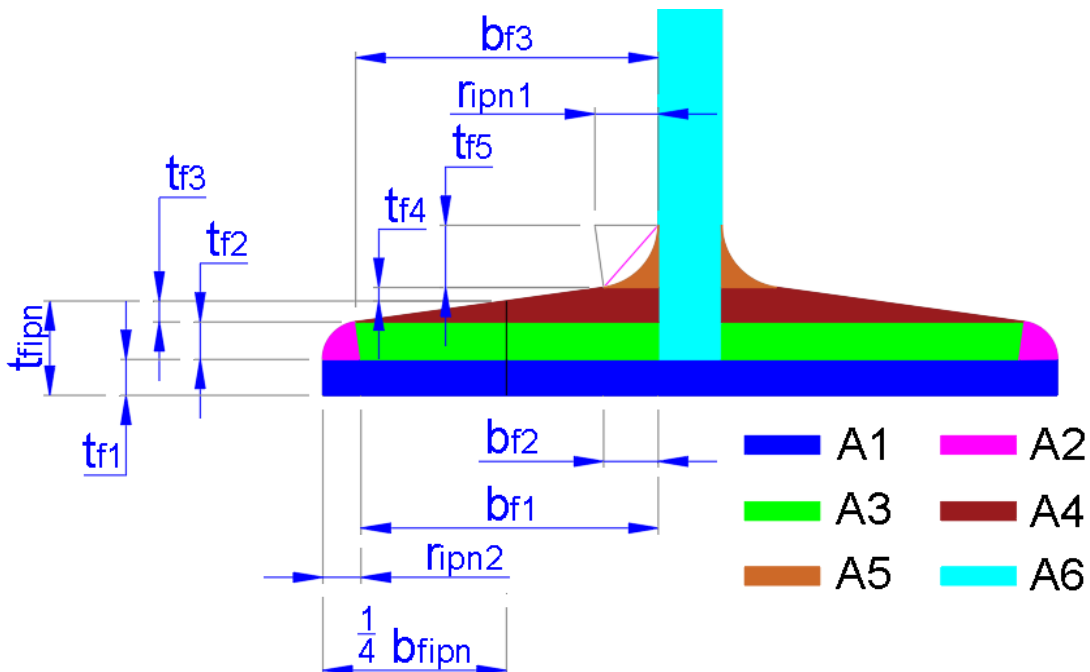


Figura 2. Discretización de alas y alama del perfil

Dimensiones Área A2

Ángulo de inclinación de las alas

$$\theta_f := 14 \%$$

$$\theta_{fipn1} := \text{atan}(\theta_f) = 7.97 \text{ deg}$$

$$\theta_{fipn2} := 90 \text{ deg} - \theta_{fipn1} = 82.03 \text{ deg}$$

Altura del área

$$t_{f2} := r_{ipn2} \cdot \cos(\theta_{fipn1}) = 6.44 \text{ mm}$$

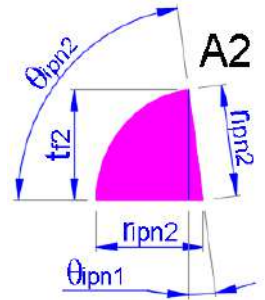


Figura 3. Area A2

Dimensiones Área A3

Altura del área

$$t_{f2} = 6.44 \text{ mm}$$

Base menor

$$b_{f1} := \frac{(b_{fipn} - t_{wipn})}{2} - r_{ipn2}$$

$$b_{f1} = 50.6 \text{ mm}$$

Base mayor

$$b_{f3} := \frac{(b_{fipn} - t_{wipn})}{2} - r_{ipn2} \cdot (1 - \sin(\theta_{fipn1})) = 51.5 \text{ mm}$$



Figura 4. Area A3

Dimensiones Área A5

Ángulo de inclinación de las alas

$$\theta_f = 14 \%$$

$$\theta_{fipn1} = 7.97 \text{ deg}$$

$$\theta_{fipn2} = 82.03 \text{ deg}$$

Altura el área

$$t_{f5} := r_{ipn1} \cdot \cos(\theta_{fipn1}) = 10.7 \text{ mm}$$

Base del área

$$b_{f2} := r_{ipn1} \cdot (1 - \sin(\theta_{fipn1}))$$

$$b_{f2} = 9.3 \text{ mm}$$

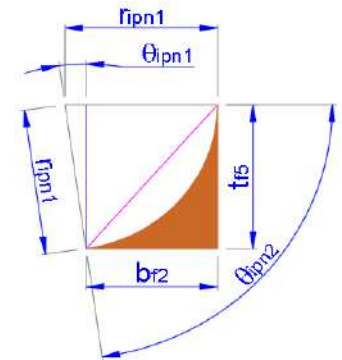


Figura 5. Area A5

Dimensiones Área A4

Ángulo de inclinación de las alas

$$\theta_f = 14 \%$$

$$\theta_{fipn1} = 7.97 \text{ deg}$$

$$\theta_{fipn2} = 82.03 \text{ deg}$$

Base mayor

$$b_{f3} = 51.5 \text{ mm}$$

Base menor

$$b_{f2} = 9.3 \text{ mm}$$

Alturas

$$t_{f3} := \tan(\theta_{fipn1}) \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot b_{fipn} - r_{ipn2} \cdot (1 - \sin(\theta_{fipn1})) \right)$$

$$t_{f3} = 3.59 \text{ mm}$$

$$t_{f4} := \tan(\theta_{fipn1}) \cdot (b_{f3} - b_{f2}) - t_{f3} = 2.32 \text{ mm}$$

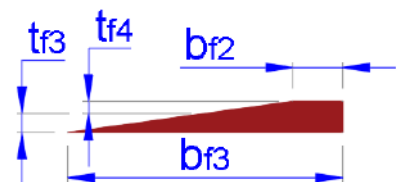


Figura 6. Area A4

Dimensiones Área A1

Ancho	$b_{fipn} = 125 \text{ mm}$
Altura	$t_{f1} := t_{fipn} - t_{f2} - t_{f3}$
	$t_{f1} = 6.17 \text{ mm}$



Figura 7. Area A1

Dimensiones Área A6

Ancho	$t_{wipn} = 10.8 \text{ mm}$
Altura	$t_{w1} := h_{ipn} - 2 \cdot t_{f1}$
	$t_{w1} = 287.66 \text{ mm}$

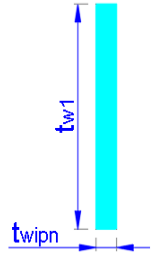


Figura 8. Area A6

06 ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

6.1. ÁREA DE LAS SECCIONES DISCRETIZADAS

Área A1	$A_{A1} := b_{fipn} \cdot t_{f1} = 7.71 \text{ cm}^2$
Área A2	$A_{A2} := \frac{r_{ipn2}^2 \cdot \theta_{fipn2}}{2} = 30.24 \text{ mm}^2$
Área A3	$A_{A3} := \frac{(b_{f1} + b_{f3})}{2} \cdot t_{f2} = 328.62 \text{ mm}^2$
Área A4	$A_{A4} := \frac{(b_{f2} + b_{f3})}{2} \cdot (t_{f3} + t_{f4}) = 179.61 \text{ mm}^2$
Área A5	$A_{A5} := b_{f2} \cdot t_{f5} + \frac{t_{f5} \cdot r_{ipn1} \cdot \sin(\theta_{fipn1})}{2} - \frac{r_{ipn1}^2 \cdot \theta_{fipn2}}{2} = 24.01 \text{ mm}^2$
Área A6	$A_{A6} := t_{wipn} \cdot t_{w1} = 3106.69 \text{ mm}^2$

6.2. ÁREA TOTAL DE LA SECCIÓN

Área total de la sección transversal $A_{ipn} := 2 \cdot A_{A1} + 4 \cdot A_{A2} + 4 \cdot A_{A3} + 4 \cdot A_{A4} + 4 \cdot A_{A5} + A_{A6} = 69 \text{ cm}^2$

07 PESO POR UNIDAD DE LONGITUD

Peso unitario del acero	$\gamma_a = 7850 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$
Peso por unidad de longitud	$P_{mlipn} := A_{ipn} \cdot \gamma_a \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{m}} = 54.16 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ kgf}$

08 MOMENTOS DE INERCIA DE LA SECCIÓN

8.1 MOMENTO DE INERCIA EJE X

Momento de inercia respecto al CG de cada área

Área A1

Inercia X $I_{xA1} := \frac{1}{12} \cdot b_{fipn} \cdot t_{f1}^3 = 0.24 \text{ cm}^4$

Área A2

Centro de gravedad $CG_{A2} := \frac{2 \cdot r_{ipn2} \cdot \sin\left(\frac{\theta_{fipn2}}{2}\right)}{3 \cdot \frac{\theta_{fipn2}}{2}} = 3.97 \text{ mm}$

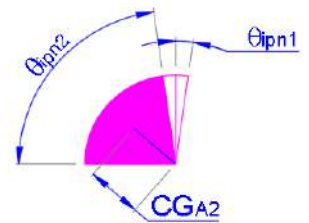


Figura 9. CG A2

Inercia X $I_{xA2} := \frac{\pi \cdot r_{ipn2}^4}{16} - \frac{1}{2} \cdot \frac{r_{ipn2}^4}{8} \cdot \left(2 \cdot \theta_{fipn1} + \sin(2 \cdot \theta_{fipn1})\right) - A_{A2} \cdot \left(CG_{A2} \cdot \sin\left(\frac{\theta_{fipn2}}{2}\right)\right)^2$

$I_{xA2} = 83.26 \text{ mm}^4$

Área A3

Centro de gravedad $CG_{A3X} := \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{2 \cdot b_{f1} + b_{f3}}{b_{f1} + b_{f3}}\right) \cdot t_{f2} = 3.21 \text{ mm}$

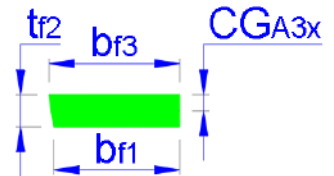


Figura 10. CG A3

Inercia X $I_{xA3} := \frac{t_{f2}^3 \cdot \left(b_{f3}^2 + 4 \cdot b_{f1} \cdot b_{f3} + b_{f1}^2\right)}{36 \cdot (b_{f1} + b_{f3})} = 1134.76 \text{ mm}^4$

Área A4

Centro de gravedad $CG_{A4X} := \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{2 \cdot b_{f2} + b_{f3}}{b_{f2} + b_{f3}}\right) \cdot (t_{f3} + t_{f4}) = 2.27 \text{ mm}$

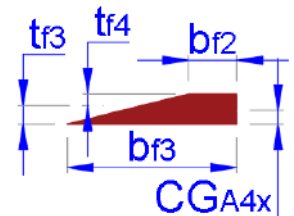


Figura 11. CG A4

Inercia X $I_{xA4} := \frac{(t_{f3} + t_{f4})^3 \cdot \left(b_{f3}^2 + 4 \cdot b_{f2} \cdot b_{f3} + b_{f2}^2\right)}{36 \cdot (b_{f2} + b_{f3})} = 438.52 \text{ mm}^4$

Área A5

Centro de gravedad del trapecio

$$CG_{Tr} := \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{2 \cdot b_{f2} + r_{ipn1}}{b_{f2} + r_{ipn1}} \right) \cdot t_{f5} = 5.22 \text{ mm}$$

Centro de gravedad del sector circular

$$CG_{Scx} := \frac{2 \cdot r_{ipn1} \cdot \sin\left(\frac{\theta_{fipn2}}{2}\right)}{3 \cdot \frac{\theta_{fipn2}}{2}} \cdot \sin\left(\frac{\theta_{fipn2}}{2}\right) = 4.33 \text{ mm}$$

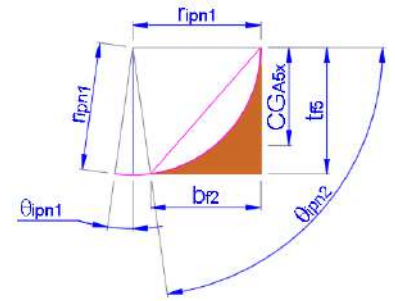


Figura 12. CG A5

Área del trapecio

$$A_{Tr} := \frac{r_{ipn1} + b_{f2}}{2} \cdot t_{f5} = 107.51 \text{ mm}^2$$

Área del sector circular

$$A_{Sc} := \frac{r_{ipn1}^2 \cdot \theta_{fipn2}}{2} = 83.5 \text{ mm}^2$$

Centro de gravedad del área A5

$$CG_{A5x} := \frac{A_{Tr} \cdot CG_{Tr} - A_{Sc} \cdot CG_{Scx}}{A_{Tr} - A_{Sc}} = 8.29 \text{ mm}$$

Inercia del sector circular

$$I_{xASc} := \frac{\pi \cdot r_{ipn1}^4}{16} - \frac{1}{2} \cdot \frac{r_{ipn1}^4}{8} \cdot \left(2 \cdot \theta_{fipn1} + \sin(2 \cdot \theta_{fipn1}) \right) = 2201.26 \text{ mm}^4$$

Inercia del trapecio

$$I_{xATr} := \frac{t_{f5}^3 \cdot (3 \cdot b_{f2} + r_{ipn1})}{12} = 3946.79 \text{ mm}^4$$

Inercia del área A5

$$I_{xA5} := I_{xATr} - I_{xASc} - A_{A5} \cdot CG_{A5x}^2 = 96.71 \text{ mm}^4$$

Área A6

Inercia X

$$I_{xA6} := \frac{1}{12} \cdot t_{wipn} \cdot t_{w1}^3 = 2142.23 \text{ cm}^4$$

Momento de inercia de cada área respecto al eje X de la sección del perfil

$$I_{xipnA1} := 2 \cdot \left(I_{xA1} + A_{A1} \cdot \left(\frac{h_{ipn}}{2} - \frac{t_{f1}}{2} \right)^2 \right) = 3330.66 \text{ cm}^4$$

$$I_{xipnA2} := 4 \cdot \left(I_{xA2} + A_{A2} \cdot \left(\frac{h_{ipn}}{2} - t_{f1} - CG_{A2} \cdot \sin \left(\frac{\theta_{fipn2}}{2} \right) \right)^2 \right) = 241.31 \text{ cm}^4$$

$$I_{xipnA3} := 4 \cdot \left(I_{xA3} + A_{A3} \cdot \left(\frac{h_{ipn}}{2} - t_{f1} - (t_{f2} - CG_{A3X}) \right)^2 \right) = 2599.01 \text{ cm}^4$$

$$I_{xipnA4} := 4 \cdot \left(I_{xA4} + A_{A4} \cdot \left(\frac{h_{ipn}}{2} - t_{f1} - t_{f2} - CG_{A4X} \right)^2 \right) = 1311.86 \text{ cm}^4$$

$$I_{xipnA5} := 4 \cdot \left(I_{xA5} + A_{A5} \cdot \left(\frac{h_{ipn}}{2} - t_{f1} - t_{f2} - t_{f3} - t_{f4} - (t_{f5} - CG_{A5X}) \right)^2 \right) = 160.04 \text{ cm}^4$$

$$I_{xipnA6} := I_{xA6} = 2142.23 \text{ cm}^4$$

Inercia total de la sección

$$I_{xipn} := I_{xipnA1} + I_{xipnA2} + I_{xipnA3} + I_{xipnA4} + I_{xipnA5} + I_{xipnA6} = 9785.1 \text{ cm}^4$$

8.1 MOMENTO DE INERCIA EJE Y

Momento de inercia respecto al CG de cada área

Área A1

Inercia Y $I_{yA1} := \frac{1}{12} \cdot b_{fipn}^3 \cdot t_{f1} = 100.45 \text{ cm}^4$

Área A2

Centro de gravedad $CG_{A2} = 3.97 \text{ mm}$

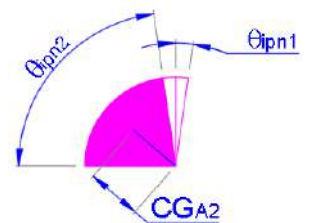


Figura 13. CG A2

Inercia Y
$$I_{yA2} := \frac{\pi \cdot r_{ipn2}^4}{16} - \frac{1}{2} \cdot \frac{r_{ipn2}^4}{8} \cdot \left(2 \cdot \theta_{fipn1} - \sin \left(2 \cdot \theta_{fipn1} \right) \right) - A_{A2} \cdot \left(CG_{A2} \cdot \cos \left(\frac{\theta_{fipn2}}{2} \right) \right)^2$$

$$I_{yA2} = 78.35 \text{ mm}^4$$

Área A3

Centro de gravedad

$$CG_{A3Y} := \frac{\frac{t_{f2} \cdot (b_{f3} - b_{f1})}{2} \cdot \left(\frac{(b_{f3} - b_{f1})}{3} + b_{f1} \right) + b_{f1} \cdot t_{f2} \cdot \frac{b_{f1}}{2}}{\frac{t_{f2} \cdot (b_{f3} - b_{f1})}{2} + b_{f1} \cdot t_{f2}}$$

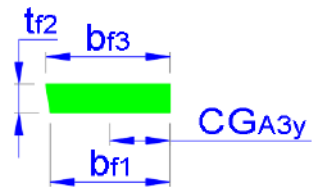


Figura 14. CG A3

$$CG_{A3Y} = 25.53 \text{ mm}$$

Inercia Y

$$I_{yA3} := \frac{1}{3} \cdot t_{f2} \cdot b_{f1}^3 + \frac{1}{12} \cdot t_{f2} \cdot (b_{f3} - b_{f1})^3 - A_{A3} \cdot (b_{f1} - CG_{A3Y})^2$$

$$I_{yA3} = 71381.81 \text{ mm}^4$$

Área A4

Centro de gravedad

$$CG_{A4Y} := \frac{\frac{(t_{f3} + t_{f4}) \cdot (b_{f3} - b_{f2})}{2} \cdot \left(\frac{(b_{f3} - b_{f2})}{3} + b_{f2} \right) + b_{f2} \cdot (t_{f3} + t_{f4}) \cdot \frac{b_{f2}}{2}}{\frac{(t_{f3} + t_{f4}) \cdot (b_{f3} - b_{f2})}{2} + b_{f2} \cdot (t_{f3} + t_{f4})}$$

$$CG_{A4Y} = 17.64 \text{ mm}$$

Inercia Y

$$I_{yA4} := \frac{1}{3} \cdot (t_{f3} + t_{f4}) \cdot b_{f2}^3 + \frac{1}{12} \cdot (t_{f3} + t_{f4}) \cdot (b_{f3} - b_{f2})^3 - A_{A4} \cdot (CG_{A4Y} - b_{f2})^2$$

$$I_{yA4} = 26090.58 \text{ mm}^4$$

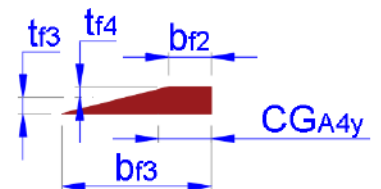


Figura 15. CG A4

Área A5

Centro de gravedad del trapecio

$$CG_{Try} := \frac{\frac{t_{f5} \cdot (r_{ipn1} - b_{f2})}{2} \cdot \left(\frac{(r_{ipn1} - b_{f2})}{3} + b_{f2} \right) + b_{f2} \cdot t_{f5} \cdot \frac{b_{f2}}{2}}{\frac{t_{f5} \cdot (r_{ipn1} - b_{f2})}{2} + b_{f2} \cdot t_{f5}}$$

$$CG_{Try} = 5.03 \text{ mm}$$

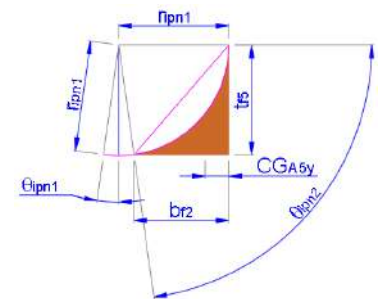


Figura 16. CG A5

Centro de gravedad del sector circular

$$CG_{Scy} := r_{ipn1} - \left(\frac{2 \cdot r_{ipn1} \cdot \sin\left(\frac{\theta_{fipn2}}{2}\right)}{3 \cdot \frac{\theta_{fipn2}}{2}} \cdot \left(\cos\left(\frac{\theta_{fipn2}}{2}\right) \right) \right) = 5.82 \text{ mm}$$

Área del trapecio

$$A_{Tr} = 107.51 \text{ mm}^2$$

Área del sector circular

$$A_{Sc} = 83.5 \text{ mm}^2$$

Centro de gravedad del área A5

$$CG_{A5y} := \frac{A_{Tr} \cdot CG_{Try} - A_{Sc} \cdot CG_{Scy}}{A_{Tr} - A_{Sc}} = 2.31 \text{ mm}$$

Inercia del sector circular

$$I_{yAsc} := \frac{\pi \cdot r_{ipn1}^4}{16} - \frac{1}{2} \cdot \frac{r_{ipn1}^4}{8} \cdot \left(2 \cdot \theta_{fipn1} - \sin(2 \cdot \theta_{fipn1}) \right) +$$

$$+ \frac{r_{ipn1}^2 \cdot \theta_{fipn2}}{2} \cdot (CG_{Scy})^2 - \frac{r_{ipn1}^2 \cdot \theta_{fipn2}}{2} \cdot (r_{ipn1} - CG_{Scy})^2$$

$$I_{yAsc} = 3425.01 \text{ mm}^4$$

Inercia del trapecio

$$I_{yATr} := \frac{1}{3} \cdot (t_{f5}) \cdot b_{f2}^3 + \frac{1}{12} \cdot (t_{f5}) \cdot (r_{ipn1} - b_{f2})^3 - A_{Tr} \cdot (b_{f2} - CG_{Try})^2 + A_{Tr} \cdot (CG_{Try})^2$$

$$I_{yATr} = 3640.47 \text{ mm}^4$$

Inercia del Área A5

$$I_{yA5} := I_{yATr} - I_{yAsc} - A_{A5} \cdot CG_{A5y}^2 = 87.77 \text{ mm}^4$$

Área A6

Inercia Y

$$I_{yA6} := \frac{1}{12} \cdot t_{w1} \cdot t_{wipn}^3 = 30197.06 \text{ mm}^4$$

Momento de inercia de cada área respecto al eje Y de la sección del perfil

$$I_{yipnA1} := 2 \cdot I_{yA1} = 200.9 \text{ cm}^4$$

$$I_{yipnA2} := 4 \cdot \left(I_{yA2} + A_{A2} \cdot \left(\frac{t_{wipn}}{2} + b_{f1} + CG_{A2} \cdot \cos \left(\frac{\theta_{fipn2}}{2} \right) \right)^2 \right) = 42.14 \text{ cm}^4$$

$$I_{yipnA3} := 4 \cdot \left(I_{yA3} + A_{A3} \cdot \left(\frac{t_{wipn}}{2} + CG_{A3y} \right)^2 \right) = 154.27 \text{ cm}^4$$

$$I_{yipnA4} := 4 \cdot \left(I_{yA4} + A_{A4} \cdot \left(\frac{t_{wipn}}{2} + CG_{A4y} \right)^2 \right) = 48.58 \text{ cm}^4$$

$$I_{yipnA5} := 4 \cdot \left(I_{yA5} + A_{A5} \cdot \left(\frac{t_{wipn}}{2} + CG_{A5y} \right)^2 \right) = 0.61 \text{ cm}^4$$

$$I_{yipnA6} := I_{yA6} = 3.02 \text{ cm}^4$$

Inercia total de la sección

$$I_{yipn} := I_{yipnA1} + I_{yipnA2} + I_{yipnA3} + I_{yipnA4} + I_{yipnA5} + I_{yipnA6} = 449.52 \text{ cm}^4$$

09 RADIO DE GIRO

Radio de giro X

$$r_{xipn} := \sqrt{\frac{I_{xipn}}{A_{ipn}}} = 11.91 \text{ cm}$$

Radio de giro Y

$$r_{yipn} := \sqrt{\frac{I_{yipn}}{A_{ipn}}} = 2.55 \text{ cm}$$

10 MÓDULO DE SECCIÓN

10.1 MÓDULO DE SECCIÓN ELÁSTICO

Módulo de sección elástico en X

$$S_{xipn} := 2 \cdot \frac{I_{xipn}}{h_{ipn}} = 652.34 \text{ cm}^3$$

Módulo de sección elástico en Y

$$S_{yipn} := 2 \cdot \frac{I_{yipn}}{b_{fipn}} = 71.92 \text{ cm}^3$$

10.2 MÓDULO DE SECCIÓN PLÁSTICO X

Módulo de sección plástico de cada área del perfil

$$Z_{xipnA1} := 2 \cdot \left(A_{A1} \cdot \left(\frac{h_{ipn}}{2} - \frac{t_{f1}}{2} \right) \right) = 226.67 \text{ cm}^3$$

$$Z_{xipnA2} := 4 \cdot \left(A_{A2} \cdot \left(\frac{h_{ipn}}{2} - t_{f1} - CG_{A2} \cdot \sin \left(\frac{\theta_{fipn2}}{2} \right) \right) \right) = 17.08 \text{ cm}^3$$

$$Z_{xipnA3} := 4 \cdot \left(A_{A3} \cdot \left(\frac{h_{ipn}}{2} - t_{f1} - (t_{f2} - CG_{A4X}) \right) \right) = 183.58 \text{ cm}^3$$

$$Z_{xipnA4} := 4 \cdot \left(A_{A4} \cdot \left(\frac{h_{ipn}}{2} - t_{f1} - t_{f2} - CG_{A4X} \right) \right) = 97.08 \text{ cm}^3$$

$$Z_{xipnA5} := 4 \cdot \left(A_{A5} \cdot \left(\frac{h_{ipn}}{2} - t_{f1} - t_{f2} - t_{f3} - t_{f4} - (t_{f5} - CG_{A5x}) \right) \right) = 12.4 \text{ cm}^3$$

$$Z_{xipnA6} := 2 \cdot \frac{A_{A6}}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h_{ipn}}{2} - t_{f1} \right) = 223.42 \text{ cm}^3$$

Módulo de sección plástico total del perfil

$$Z_{xipn} := Z_{xipnA1} + Z_{xipnA2} + Z_{xipnA3} + Z_{xipnA4} + Z_{xipnA5} + Z_{xipnA6} = 760.23 \text{ cm}^3$$

10.3 MÓDULO DE SECCIÓN PLÁSTICO Y

Módulo de sección plástico de cada área del perfil

$$Z_{yipnA1} := 2 \cdot \left(A_{A1} \cdot \left(\frac{b_{fipn}}{4} \right) \right) = 48.22 \text{ cm}^3$$

$$Z_{yipnA2} := 4 \cdot \left(A_{A2} \cdot \left(\frac{t_{wipn}}{2} + b_{f1} + CG_{A2} \cdot \cos \left(\frac{\theta_{fipn2}}{2} \right) \right) \right) = 7.14 \text{ cm}^3$$

$$Z_{yipnA3} := 4 \cdot \left(A_{A3} \cdot \left(\frac{t_{wipn}}{2} + CG_{A3Y} \right) \right) = 40.65 \text{ cm}^3$$

$$Z_{yipnA4} := 4 \cdot \left(A_{A4} \cdot \left(\frac{t_{wipn}}{2} + CG_{A4Y} \right) \right) = 16.55 \text{ cm}^3$$

$$Z_{yipnA5} := 4 \cdot \left(A_{A5} \cdot \left(\frac{t_{wipn}}{2} + CG_{A5y} \right) \right) = 0.74 \text{ cm}^3$$

$$Z_{yipnA6} := 2 \cdot \frac{A_{A6}}{2} \cdot \left(\frac{t_{wipn}}{4} \right) = 8.39 \text{ cm}^3$$

Módulo de sección plástico total del perfil

$$Z_{yipn} := Z_{yipnA1} + Z_{yipnA2} + Z_{yipnA3} + Z_{yipnA4} + Z_{yipnA5} + Z_{yipnA6} = 121.69 \text{ cm}^3$$

11 CONSTANTES TORSIONALES

11.1 CONSTANTE TORSIONANTE

Ángulo de inclinación de las alas

$$\alpha_{ipn} := \theta_f \cdot 100 = 14$$

Coefficiente α_{lipn}

Ec. C.20. STEEL DESIGN GUIDE 9

$$\alpha_{lipn0} := -0.042 + 0.22 \cdot \frac{t_{wipn}}{t_{fipn}} + 0.136 \cdot \frac{r_{ipn1}}{t_{fipn}} - 0.0865 \cdot \frac{t_{wipn} \cdot r_{ipn1}}{t_{fipn}^2} - 0.0725 \cdot \frac{t_{wipn}^2}{t_{fipn}^2} = 0.12$$

$$t_1 := t_{f1} + t_{f2} = 12.61 \text{ mm}$$

$$t_2 := \frac{(t_1 + t_{f3} + t_{f4}) - t_1}{(b_{f3} - b_{f2})} \cdot b_{f3} + t_1 = 19.82 \text{ mm}$$

Coefficiente α_{2ipn}

Ec. C.23. STEEL DESIGN GUIDE 9

$$y - t_1 = \frac{t_2 - t_1}{(b_{f3} - b_{f2}) - 0} \cdot (x - 0)$$

$$\alpha_{2ipn16} := -0.0836 + 0.254 \cdot \frac{t_{wipn}}{t_2} +$$

$$+ 0.127 \cdot \frac{r_{ipn1}}{t_2} - 0.0806 \cdot \frac{t_{wipn} \cdot r_{ipn1}}{t_2^2} - 0.0858 \cdot \frac{t_{wipn}^2}{t_2^2}$$

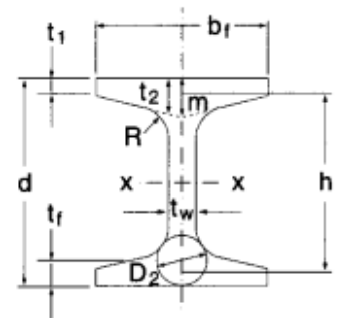
$$\alpha_{2ipn16} = 0.07$$

$$\alpha_{lipn14} := -\frac{3 \cdot (\alpha_{lipn0} - \alpha_{2ipn16})}{50} \cdot \alpha_{ipn} + \alpha_{lipn0} = 0.08$$

Coefficiente S_{ipn}

Ec. C.26. STEEL DESIGN GUIDE 9

$$\text{Coefficiente } m_{ipn} \quad m_{ipn} := \frac{t_2 - t_1}{(b_{f3} - b_{f2})} \cdot \left(b_{f1} + \frac{t_{wipn}}{2} \right) + t_1 = 22.18 \text{ mm}$$



(b) I-shaped member with sloping-sided flanges

Figura 17. Figure C.4.b STEEL DESIGN GUIDE 9

Coefficiente S_{ipn}

$$S_{ipn} := \frac{2 \cdot (m_{ipn} - t_1)}{b_{fipn}} = 0.15$$

Ec. C.26. STEEL DESIGN GUIDE 9

Coefficiente V_{sipn}

Ec. C.27. STEEL DESIGN GUIDE 9

$$V_{sipn} := 0.105 + 0.1 \cdot S_{ipn} + 0.0848 \cdot S_{ipn}^2 + 0.0675 \cdot S_{ipn}^3 + 0.0515 \cdot S_{ipn}^4 = 0.12$$

Coefficiente F_{ipn}

Ec. C.25. STEEL DESIGN GUIDE 9

$$F_{ipn} := r_{ipn1} \cdot S_{ipn} \cdot \left(\sqrt{\frac{1}{S_{ipn}^2} + 1} - 1 - \frac{t_{wipn}}{2 \cdot r_{ipn1}} \right) = 8.45 \text{ mm}$$

Coefficiente D_{2ipn}

Ec. C.24. STEEL DESIGN GUIDE 9

$$D_{2ipn} := \frac{(F_{ipn} + m_{ipn})^2 + t_{wipn} \cdot \left(r_{ipn1} + \frac{t_{wipn}}{4} \right)}{F_{ipn} + r_{ipn1} + m_{ipn}} = 26.16 \text{ mm}$$

Constante torsionante.

Ec. C.22. STEEL DESIGN GUIDE 9

$$J_{ipn} := \frac{(b_{fipn} - t_{wipn}) \cdot (t_1 + t_2) \cdot (t_1^2 + t_2^2)}{6} + \frac{2 \cdot t_{wipn} \cdot t_2^3}{3} + \frac{(h_{ipn} - 2 \cdot t_2) \cdot t_{wipn}^3}{3} + 2 \cdot \alpha_{1ipn14} \cdot D_{2ipn}^4 - 4 \cdot V_{sipn} \cdot t_1^4$$

$$J_{ipn} = 57.09 \text{ cm}^4$$

11.2 CONSTANTE DE ALABEO

Constante de alabeo.

Ec. 3.5. STEEL DESIGN GUIDE 9

$$C_{wipn} := \frac{I_{yipn} \cdot (h_{ipn} - t_{fipn})^2}{4} = 90512.8 \text{ cm}^6$$

11 RESUMEN DE PARAMETROS GEOMÉTRICOS

VIGA ["IPN300"]

Peso por ml	$P_{mlipn} = 54.16 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$
Inercia X	$I_{xipn} = 9785.1 \text{ cm}^4$
Inercia Y	$I_{yipn} = 449.52 \text{ cm}^4$
Modulo elástico X	$S_{xipn} = 652.34 \text{ cm}^3$
Modulo elástico Y	$S_{yipn} = 71.92 \text{ cm}^3$
Modulo plástico X	$Z_{xipn} = 760.23 \text{ cm}^3$
Modulo plástico Y	$Z_{yipn} = 121.69 \text{ cm}^3$
Constante Torsional	$J_{ipn} = 57.09 \text{ cm}^4$
Constante de alabeo	$C_{wipn} = 90512.8 \text{ cm}^6$

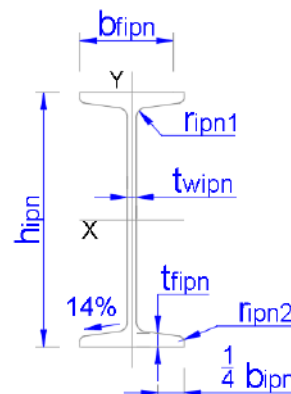


Figura 18. Resumen de Geometría