

CAPITULO 3

3. METODO LINEAL PARA EL CALCULO DE LAS PROPIEDADES GEOMETRICAS

3.1 Descripción del método.

El método lineal o método de línea central permite simplificar los cálculos de las propiedades geométricas cuando el espesor del perfil es uniforme. El método considera que la sección se concentra en la línea central de la misma, por lo que los elementos "área" se transforman en elementos "línea" curvos y/o rectos. Después de calcular las propiedades de los elementos lineales se utiliza el espesor del elemento para obtener las propiedades reales. Por lo que el área será $A=Lt$ y el momento de inercia será $I=l't$, donde L es la longitud total de todos los elementos línea e I' es el momento de inercia de los elementos línea.

Debido a que la dimensión t no interviene en los cálculos de x , y , y r (radio de giro) estos se obtienen de manera exacta.

Si las especificaciones del AISI requieren reducir el ancho plano, w , para obtener el ancho efectivo de diseño, b , este debe usarse para calcular las propiedades geométricas efectivas de los elementos línea.

Aunque las ecuaciones para el cálculo de las propiedades geométricas para los elementos lineales son exactas, cuando se calculan las propiedades reales del perfil serán solo aproximadas debido a que el perfil real cuenta obviamente con espesor. A continuación se enumeran algunas razones del porque el uso de estas ecuaciones proveen solo aproximaciones a los valores exactos:

1. Debido a que el espesor es muy pequeño, el cálculo de t^3 para obtener momento de inercia respecto al eje longitudinal se considera despreciable.
2. El momento de inercia de un elemento recto inclinado con respecto a los ejes de referencia es ligeramente mayor que el del elemento lineal correspondiente,

pero para elementos de longitudes similares, el error introducido es menor al error involucrado en despreciar el momento de inercia del elemento con respecto a su eje longitudinal.

3. Existen errores al considerar las propiedades de un arco lineal para modelar las esquinas reales del perfil; sin embargo, como los radios de curvatura generalmente son pequeños, el error en la ubicación del centroide de la esquina es despreciable, así como el error en el cálculo del momento de inercia. En cambio, cuando el radio de curvatura del elemento circular es mayor que cuatro veces su espesor, como suele ser en los perfiles tubulares cilíndricos y en laminas con corrugaciones circulares, los errores que se introducen al usar estas propiedades de los arcos lineales desaparecen.

3.2 Definición de términos generales

Centroide.- El centroide de un área es el punto con respecto al cual el área se podría equilibrar suponiendo que se apoya en dicho *punto*. En el caso de cuerpos tridimensionales, el termino centro de gravedad o centro de masa se emplea para definir un punto similar.

Momento de inercia.- Es una indicación de la rigidez de una viga, es decir, su resistencia a deflexionarse cuando se somete a cargas. Por ejemplo, el momento de inercia con respecto al eje x esta dado por:

$$I_x = \sum I_{xx} + \sum Ay^2$$

Donde: I_{xx} = Momento de inercia de los elementos con respecto a su propio eje

A = Area seccional de elementos

y = Distancia del centroide del elemento al centroide del perfil

Modulo de sección.- Se llama módulo de la sección de una figura geométrica, al cociente que resulta de dividir el momento de inercia centroidal entre la distancia

al extremo de la figura. Las expresiones comunes para calcular los módulos de sección están dados por:

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{max}} \quad S_y = \frac{I_y}{X_{max}}$$

3.3 Ecuaciones generales para el cálculo de propiedades geométricas

3.3.1 Elementos Lineales Rectos

Los momentos de inercia del elemento recto vertical pueden calcularse mediante las siguientes ecuaciones:

$$I_1 = \frac{l^3}{12} \quad (3.1)$$

$$I_2 = 0 \quad (3.2)$$

$$I_3 = la^2 + \frac{l^3}{12} = l \left(a^2 + \frac{l^2}{12} \right) \quad (3.3)$$

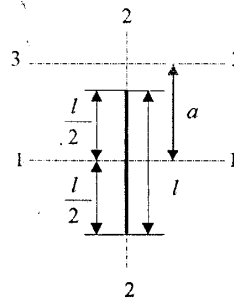


Fig.3.1 Elemento Lineal Vertical

Los momentos de inercia del elemento recto horizontal pueden calcularse mediante las siguientes ecuaciones:

$$I_1 = 0 \quad (3.4)$$

$$I_2 = \frac{l^3}{12} \quad (3.5)$$

$$I_3 = la^2 \quad (3.6)$$

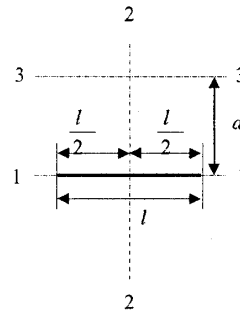


Fig.3.2 Elemento Lineal Horizontal

Los momentos de inercia del elemento recto con inclinación θ referidos a los ejes 1-1 y 2-2 pueden ser obtenidos mediante las leyes de Transformación de Inercia vistas en estática, pueden calcularse mediante las siguientes ecuaciones:

$$I_1 = \left[\frac{\cos^2 \theta}{12} \right] l^3 = \frac{l}{12} n^2 \quad (3.7)$$

$$I_2 = \left[\frac{\sin^2 \theta}{12} \right] l^3 = \frac{l}{12} m^2 \quad (3.8)$$

$$I_{1-2} = \left[\frac{\sin \theta \cos \theta}{12} \right] l^3 = \frac{l}{12} mn^2 \quad (3.9)$$

$$I_3 = la^2 + \frac{l}{12} n^2 = l \left[a^2 + \frac{n^2}{12} \right] \quad (3.10)$$

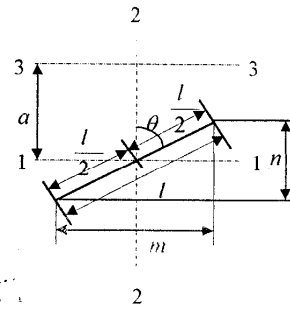


Fig.3.3 Elemento Lineal Inclinado

3.3.2 Elementos Lineales Circulares

Los momentos de inercia con respecto a los ejes centroidales de un segmento de arco están dados por:

$$I_1 = \left[\frac{\theta_2 - \theta_1 + \sin \theta_2 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \cos \theta_1}{2} - \frac{(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)^2}{\theta_2 - \theta_1} \right] r^3 \quad (3.11)$$

$$I_2 = \left[\frac{\theta_2 - \theta_1 - \sin \theta_2 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \cos \theta_1}{2} - \frac{(\cos \theta_1 - \cos \theta_2)^2}{\theta_2 - \theta_1} \right] r^3 \quad (3.12)$$

El producto de inercia con respecto a los ejes 1 y 2, los momentos de inercia y producto de inercia con respecto a los ejes 3 y 4 serán:

$$I_{1-2} = \left[\frac{\sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_1}{2} + \frac{(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)(\cos \theta_2 - \cos \theta_1)}{\theta_2 - \theta_1} \right] r^3 \quad (3.13)$$

$$I_3 = \left[\frac{\theta_2 - \theta_1 + \sin \theta_2 \cos \theta_2 - \sin \theta_1 \cos \theta_1}{2} \right] r^3 \quad (3.14)$$

$$I_4 = \left[\frac{\theta_2 - \theta_1 - \sin \theta_2 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \cos \theta_1}{2} \right] r^3 \quad (3.15)$$

$$I_{3-4} = \left[\frac{\sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_1}{2} \right] r^3 \quad (3.16)$$

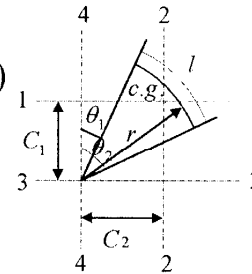


Fig.3.4 Elemento Circular Genérico

Donde θ = ángulo interior (en radianes) de los radios en los extremos del elemento circular

$=\pi\theta/180=0.01745\theta$, si θ está expresado en grados ver (ver Fig. 3.4).

R = distancia radial del centro de la curvatura al paño interior de la esquina circular.

r = distancia radial del centro de la curvatura al centro de línea del elemento circular.

$= R + t/2$

Los valores de I , C_1 y C_2 mostrados en la figura están dados por las siguientes expresiones:

$$l = (\theta_2 - \theta_1)r \quad (3.17)$$

$$C_1 = \frac{(\text{sen } \theta_2 - \text{sen } \theta_1)r}{\theta_2 - \theta_1} \quad (3.18)$$

$$C_2 = \frac{(\text{cos } \theta_1 - \text{cos } \theta_2)r}{\theta_2 - \theta_1} \quad (3.19)$$

Las ecuaciones de propiedades geométricas de elementos circulares pueden simplificarse significativamente si se consideran los siguientes casos:

Caso I: $\theta_1=0$; $\theta_2=90^\circ$

$$l = \frac{\pi r}{2} = 1.57r \quad (3.20)$$

$$C = 0.637r \quad (3.21)$$

$$I_1 = I_2 = 0.149r^3 \quad (3.22)$$

$$I_{1-2} = -0.137r^3 \quad (3.23)$$

$$I_3 = I_4 = 0.785r^3 \quad (3.24)$$

$$I_{3-4} = -0.50r^3 \quad (3.25)$$

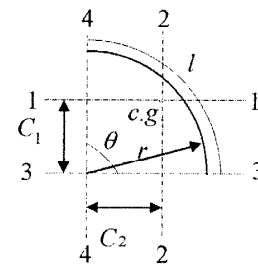


Fig.3.5 Elemento Circular de 90°

Caso II: $\theta_1=0$; $\theta_2=\theta$

$$l = \theta \quad (3.26)$$

$$C_1 = \frac{r \operatorname{sen} \theta}{\theta} \quad (3.27) \quad C_2 = \frac{r(1 - \cos \theta)}{\theta} \quad (3.28)$$

$$I_1 = \left[\frac{\theta + \operatorname{sen} \theta \cos \theta}{2} - \frac{\operatorname{sen}^2 \theta}{\theta} \right] r^3 \quad (3.29)$$

$$I_2 = \left[\frac{\theta - \operatorname{sen} \theta \cos \theta}{2} - \frac{(1 - \cos \theta)^2}{\theta} \right] r^3 \quad (3.30)$$

$$I_3 = \left[\frac{\theta + \operatorname{sen} \theta \cos \theta}{2} \right] r^3 \quad (3.31)$$

$$I_4 = \left[\frac{\theta - \operatorname{sen} \theta \cos \theta}{2} \right] r^3 \quad (3.32)$$

$$I_{3-4} = \left[\frac{\operatorname{sen}^2 \theta}{2} \right] r^3 \quad (3.33)$$

$$I_{1-2} = \left[\frac{\operatorname{sen}^2 \theta}{2} + \frac{\operatorname{sen} \theta (\cos \theta - 1)}{\theta} \right] r^3 \quad (3.34)$$

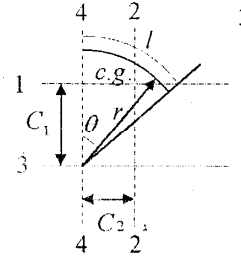


Fig.3.6 Elemento Circular de θ

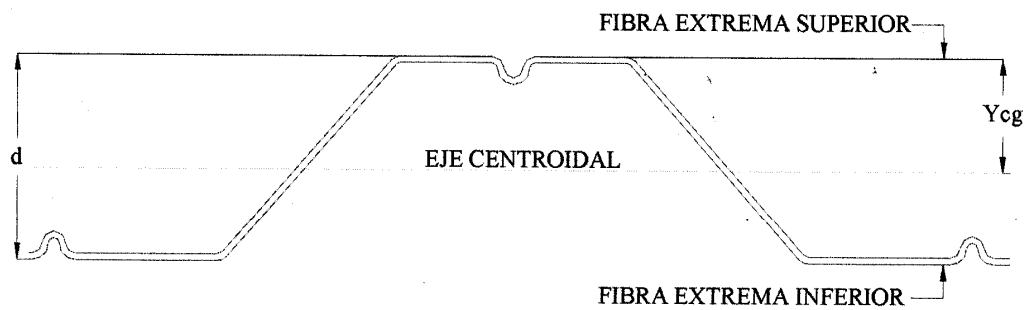
3.4 Tablas de Propiedades Geométricas

Se presentan las tablas de Propiedades Geométricas, obtenidas al introducir los datos dados en el Anexo 1, a la hoja de calculo programada.


S_{xs} Modulo de sección a la fibra extrema superior del perfil


S_{xi} Modulo de sección a la fibra extrema inferior del perfil

Y_{cg} Distancia del eje centroidal "x" a la fibra extrema superior



$$S_{xs} = \frac{I_x}{Y_{cg}} \quad S_{xi} = \frac{I_x}{d - Y_{cg}}$$

PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)							
SECCION HR-71							
							
Ideal como sustrato en cubierta compuesta.							
FABRICANTE: IMSA							
CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
24	0.0531	3.8632	6.253	13.457	5.750	8.837	2.340
22	0.0749	3.8850	8.828	19.000	8.081	14.975	2.351
20	0.0909	3.9010	10.720	23.078	9.781	14.975	2.359
18	0.1200	3.9300	14.168	30.509	12.851	19.608	2.374

PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)							
R-72							
							
Cubiertas de naves industriales, bodegas y construcciones en general en donde se requiere mediana capacidad estructural y de desague							
FABRICANTE: IMSA							
CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
28	0.0417	2.5954	4.690	4.363	2.490	5.175	1.752
26	0.0493	2.6030	5.557	5.207	2.969	6.134	1.754
24	0.0531	2.6068	5.975	5.561	3.164	6.550	1.758
22	0.0749	2.6286	8.436	7.859	4.444	9.134	1.768

PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)

R-101



Cubiertas de naves industriales, bodegas y construcciones en general en donde se requiere mediana capacidad estructural y de desagüe

FABRICANTE: IMSA

CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
28	0.0417	2.5954	4.690	4.363	2.490	5.175	1.752
26	0.0493	2.6030	5.557	5.207	2.969	6.134	1.754
24	0.0531	2.6068	5.975	5.561	3.164	6.550	1.758
22	0.0749	2.6286	8.436	7.859	4.444	9.134	1.768

PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)


RD-91.5




Se utiliza como sustrato en cubiertas compuestas y fachadas arquitectónicas

FABRICANTE: IMSA

CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
24	0.053	3.802	6.697	13.698	9.730	5.722	1.408
22	0.075	3.824	9.432	19.284	13.599	8.016	1.418
20	0.091	3.840	11.435	23.370	16.394	9.680	1.426
18	0.120	3.869	15.067	30.772	21.383	12.665	1.439

PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)							
LOSACERO SECCION 36/15							
							
Entrepiso metálico con un diseño que permite una relación entre su diseño estructural y arquitectónico							
FABRICANTE: IMSA							
CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
24	0.0531	3.8019	6.697	13.698	9.730	5.722	1.408
22	0.0749	3.8237	9.432	19.284	13.599	8.016	1.418
20	0.0909	3.8397	11.435	23.370	16.394	9.680	1.426
18	0.1200	3.8687	15.067	30.772	21.383	12.665	1.439

PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)							
R-90							
							
Ideal para grandes claros, estacionamientos, bodegas, locales comerciales, etc.							
FABRICANTE: IMSA							
CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
26	0.0493	12.0494	6.391	104.871	13.858	23.398	7.567
24	0.0531	12.0532	6.748	119.650	15.992	26.176	7.482
22	0.0749	12.0750	9.521	168.800	22.517	36.872	7.497

PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)

RN-100/35



Cubierta de naves industriales en donde se requiere resistencia estructural y/o diseñar con pendientes bajas (mayor o igual al 6%) se aplica tambien en fachadas industriales, horizontales y verticales. FABRICANTE: IMSA

CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
26	0.0493	3.4536	5.293	9.729	4.038	9.320	2.410
24	0.0531	3.4574	5.701	10.492	4.349	9.795	2.413
22	0.0749	3.4792	8.04	14.797	6.101	13.557	2.425

PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)

KR-18



Perfil estructural fabricado en obra con uniones engargoladas en los extremos y clips fijos o móviles

FABRICANTE: IMSA

CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
26	0.0493	6.1662	5.603	14.760	2.816	15.948	5.241
24	0.0531	6.1700	6.034	15.218	2.959	14.806	5.142
22	0.0749	6.2290	8.513	21.493	4.169	20.007	5.155

PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)

GALVADECK 15



Sistema de entepiso metálico de excelente resistencia estructural

FABRICANTE: GALVAK

CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
24	0.0531	3.8532	6.53	13.121	9.612	5.273	1.365
22	0.0749	3.8750	9.211	18.508	13.451	7.400	1.376
20	0.0909	3.8910	11.178	22.364	16.124	8.932	1.387
18	0.1200	3.9200	14.757	29.652	21.203	11.759	1.398

PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)


G-74




Lámina rectangular de gran aplicación en la instalación de muros, techos y bardas.

FABRICANTE: GALVAK

CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
28	0.0417	2.4006	4.275	3.466	2.066	4.793	1.677
26	0.0493	2.4082	5.056	4.010	2.439	5.639	1.681
24	0.0531	2.4120	5.446	4.410	2.624	6.059	1.683
22	0.0749	2.4338	7.690	6.240	3.684	8.432	1.694

PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)							
G-104							
							
Lámina rectangular de gran aplicación en la instalación de muros, techos y bardas.							
FABRICANTE: GALVAK							
CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
28	0.0417	2.4006	4.275	3.466	2.066	4.793	1.677
26	0.0493	2.4082	5.056	4.010	2.439	5.639	1.681
24	0.0531	2.4120	5.446	4.410	2.624	6.059	1.683
22	0.0749	2.4338	7.690	6.240	3.684	8.432	1.694

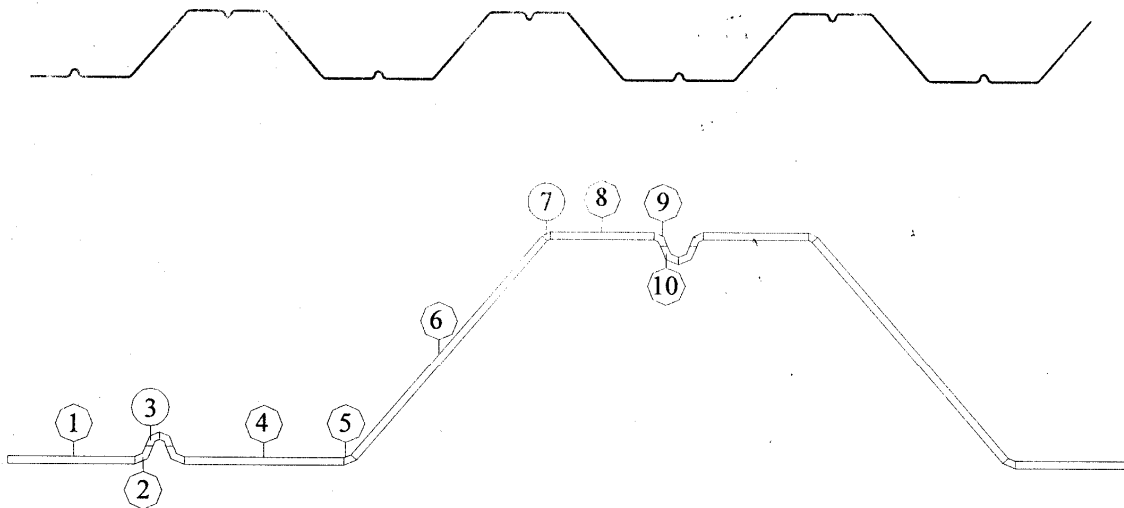
PROPIEDADES DE LA SECCION (100 CM)							
GALVADECK 25							
							
Sistema de entrepiso metálico con excelente resistencia estructural							
FABRICANTE: GALVAK							
CALIBRE	ESPESOR cm	PERALTE cm	AREA cm ²	Ix cm ⁴	Sx _s cm ³	Sx _i cm ³	Ycg cm
24	0.0531	6.2780	6.627	39.200	10.805	14.791	3.628
22	0.0749	6.3000	9.352	49.678	13.608	18.751	3.651
20	0.0909	6.3130	11.346	67.092	18.383	25.190	3.649
18	0.1200	6.3450	14.998	88.819	24.256	33.100	3.662

3.5 Ejemplos de aplicación

Ejemplo No. 1

Calcular las propiedades geométricas no reducidas del siguiente perfil, en una longitud de 100 cm

Galvadeck 25, calibre 22, fabricante Galvak



Ver Anexo No. 1 (pag. 71) para dimensiones de elementos del perfil Galvadeck 25

Elemento 1. (1 elemento)

Elemento recto horizontal:

$$L = 35 \text{ mm}$$

El momento de inercia es cero ya que el eje longitudinal coincide con el eje x

$$I = 0$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 62.625 \text{ mm}$$

Elemento 2. (8 elementos)

Para elementos circulares con $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 90^\circ$ (ver art. 3.3.2)

$$r = 3 \text{ mm} + \frac{0.7493 \text{ mm}}{2}$$

$$r = 3.375 \text{ mm}$$

Longitud del arco:

$$\text{(Ec. 3.20): } L = 1.57 (3.375 \text{ mm})$$

$$L = 5.298 \text{ mm}$$

Momento de inercia:

$$\text{(Ec. 3.22): } I = 0.149(3.375\text{mm})^3$$

$$I = 5.278 \text{ mm}^3$$

$$\text{(Ec. 3.21): } C = 0.637(3.375 \text{ mm})$$

$$C = 2.15 \text{ mm}$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 63 \text{ mm} - 0.7493 \text{ mm} - 3 \text{ mm} - 2.15 \text{ mm}$$

$$Y = 61.401 \text{ mm}$$

Elemento 3. (8 elementos)

Para elementos circulares con $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 90^\circ$ (ver art. 3.3.2)

$$r = 3\text{mm} + \frac{0.7493\text{mm}}{2}$$

$$r = 3.375 \text{ mm}$$

Longitud del arco:

$$\text{(Ec. 3.20): } L = 1.57 (3.375 \text{ mm})$$

$$L = 5.298 \text{ mm}$$

Momento de inercia

$$\text{(Ec. 3.22): } I = 0.149(3.375\text{mm})^3$$

$$I = 5.278 \text{ mm}^3$$

$$\text{(Ec. 3.21): } C = 0.637(3.375 \text{ mm})$$

$$C = 2.15 \text{ mm}$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 63 \text{ mm} - 0.7493 \text{ mm} - 2.15 \text{ mm}$$

$$Y = 60.101 \text{ mm}$$

Elemento 4. (7 elementos)

Elemento recto horizontal

$$L = 43.9 \text{ mm}$$

El momento de inercia es cero ya que el eje longitudinal coincide con el eje x

$$I = 0$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 63 \text{ mm} - \frac{0.7493 \text{ mm}}{2}$$
$$Y = 62.625 \text{ mm}$$

Elemento 5. (7 elementos)

Para elementos circulares con $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 49^\circ$ (ver art. 3.3.2)

$$r = 2.5 \text{ mm} + \frac{0.7493 \text{ mm}}{2}$$
$$r = 2.875 \text{ mm}$$

Longitud del arco:

(Ec. 3.26)

$$L = 0.855 \text{ rad}(2.875 \text{ mm})$$

$$L = 2.458 \text{ mm}$$

Momento de inercia

(Ec. 3.29)

$$I = \left[\frac{0.855 \text{ rad} + \text{sen } 0.855 \text{ rad} \cos 0.855 \text{ rad}}{2} - \frac{(\text{sen } 0.855 \text{ rad})^2}{0.855 \text{ rad}} \right] (2.875)^3$$
$$I = 0.217 \text{ mm}^3$$

(Ec. 3.27)

$$C = \frac{2.875 \text{ mm}(\text{sen } 0.855 \text{ rad})}{0.855 \text{ rad}}$$

$$C = 2.537 \text{ mm}$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 63 \text{ mm} - 0.7493 \text{ mm} - 2.5 \text{ mm} + 2.537 \text{ mm}$$

$$Y = 62.288 \text{ mm}$$

Elemento 6. (6 elementos)

Elemento recto inclinado

$$L = 79.863 \text{ mm}$$

Momento de inercia

(Ec 3.8):

$$I = \frac{79.863 \text{ mm}}{12} (60.2733)^2$$
$$I = 24177.663 \text{ mm}^3$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = \frac{60.2733 \text{ mm}}{2} + 0.989 \text{ mm} + \frac{0.7493 \text{ mm}}{2}$$
$$Y = 31.5 \text{ mm}$$

Elemento 7. (6 elementos)

Para elementos circulares con $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 49^\circ$ (ver art. 3.3.2)

$$r = 2.5 \text{ mm} + \frac{0.7493 \text{ mm}}{2}$$
$$r = 2.875 \text{ mm}$$

Longitud del arco:

(Ec. 3.26)

$$L = 0.855 \text{ rad}(2.875 \text{ mm})$$

$$L = 2.458 \text{ mm}$$

Momento de inercia

(Ec. 3.29)

$$I = \left[\frac{0.855 \text{ rad} + \frac{\sin 0.855 \text{ rad} \cos 0.855 \text{ rad}}{2} - \frac{(\sin 0.855 \text{ rad})^2}{0.855 \text{ rad}} \right] (2.875)^3$$
$$I = 0.217 \text{ mm}^3$$

(Ec. 3.27)

$$C = \frac{2.875 \text{ mm}(\sin 0.855 \text{ rad})}{0.855 \text{ rad}}$$

$$C = 2.537 \text{ mm}$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 0.7493 \text{ mm} + 2.5 \text{ mm} - 2.537 \text{ mm} = 0.712 \text{ mm}$$

Elemento 8. (6 elementos)

Elemento recto horizontal

$$L = 28.6 \text{ mm}$$

El momento de inercia es cero ya que el eje longitudinal coincide con el eje x

$$I = 0$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = \frac{0.7493 \text{ mm}}{2}$$

$$Y = 0.375 \text{ mm}$$

Elemento 9. (6 elementos)

Para elementos circulares con $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 90^\circ$ (ver art. 3.3.2)

$$r = 3 \text{ mm} + \frac{0.7493 \text{ mm}}{2}$$

$$r = 3.375 \text{ mm}$$

Longitud del arco:

$$\text{(Ec. 3.20): } L = 1.57 (3.375 \text{ mm})$$

$$L = 5.298 \text{ mm}$$

Momento de inercia

$$\text{(Ec. 3.22): } I = 0.149(3.375 \text{ mm})^3$$

$$I = 5.278 \text{ mm}^3$$

$$\text{(Ec. 3.21): } C = 0.637(3.375 \text{ mm})$$

$$C = 2.15 \text{ mm}$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 0.7493 \text{ mm} + 3 \text{ mm} - 2.15 \text{ mm}$$

$$Y = 1.599 \text{ mm}$$

Elemento 10. (6 elementos)

Para elementos circulares con $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 90^\circ$ (ver art. 3.3.2)

$$r = 3 \text{ mm} + \frac{0.7493 \text{ mm}}{2}$$

$$r = 3.375 \text{ mm}$$

Longitud del arco:

$$(Ec. 3.20): L = 1.57 (3.375 \text{ mm})$$

$$L = 5.298 \text{ mm}$$

Momento de inercia

$$(Ec. 3.22): I = 0.149(3.375\text{mm})^3$$

$$I = 5.278 \text{ mm}^3$$

$$(Ec. 3.21): C = 0.637(3.375 \text{ mm})$$

$$C = 2.15 \text{ mm}$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 0.7493 \text{ mm} + 3 \text{ mm} + 2.15 \text{ mm}$$

$$Y = 5.899 \text{ mm}$$

Elemento 11. (1 elemento)

Elemento recto inclinado

$$L = 74.75 \text{ mm}$$

Momento de inercia

(Ec. 3.8):

$$I = \frac{74.75\text{mm}}{12} (56.4145\text{mm})^2$$

$$I = 19824.92 \text{ mm}^3$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 63\text{mm} - \frac{0.7493\text{mm}}{2} - 0.989\text{mm} - \frac{56.4145\text{mm}}{2}$$

$$Y = 33.429 \text{ mm}$$

Elemento	L (mm)	Y (mm)	LY (mm ²)	LY ² (mm ³)	I (mm ³)
1	35	62.625	2191.875	137266.172	0
2	5.298x8	61.401	2602.42	159791.189	5.728
3	5.298x8	60.101	2547.321	15096.526	5.728
4	43.9x7	62.625	19244.663	1205196.989	0
5	2.458x7	62.288	1071.727	66755.752	0.217
6	79.86x6	31.5	15093.54	475446.51	24177.663
7	2.458x6	0.712	10.501	7.476	0.217
8	28.6x6	0.375	64.35	24.131	0
9	5.298x6	1.599	50.829	81.276	5.728
10	5.298x6	5.899	187.517	1106.165	5.728
11	74.75	33.429	2498.818	83532.979	19824.92
suma	1248.108		45563.561	2282305.165	44025.929

$$Y_{cg} = \frac{45563.561 \text{ mm}^2}{1248.108 \text{ mm}}$$

$$Y_{cg} = 36.506 \text{ mm} = 3.651 \text{ cm}$$

$$I_x = 0.7493 \text{ mm} (2282305.165 \text{ mm}^3 + 44025.929 \text{ mm}^3 - ((36.506 \text{ mm})^2 \times 1248.108 \text{ mm}))$$

$$I_x = 496780.276 \text{ mm}^4 = 49.678 \text{ mm}^4$$

$$S_{xs} = \frac{496780.276 \text{ mm}^4}{35.506 \text{ mm}}$$

$$S_{xs} = 13,991.44 \text{ mm}^3 = 13.991 \text{ cm}^3$$

$$S_{xi} = \frac{496780.276 \text{ mm}^4}{(63 \text{ mm} - 36.506 \text{ mm})}$$

$$S_{xi} = 18,750.671 \text{ mm}^3 = 18.751 \text{ cm}^3$$

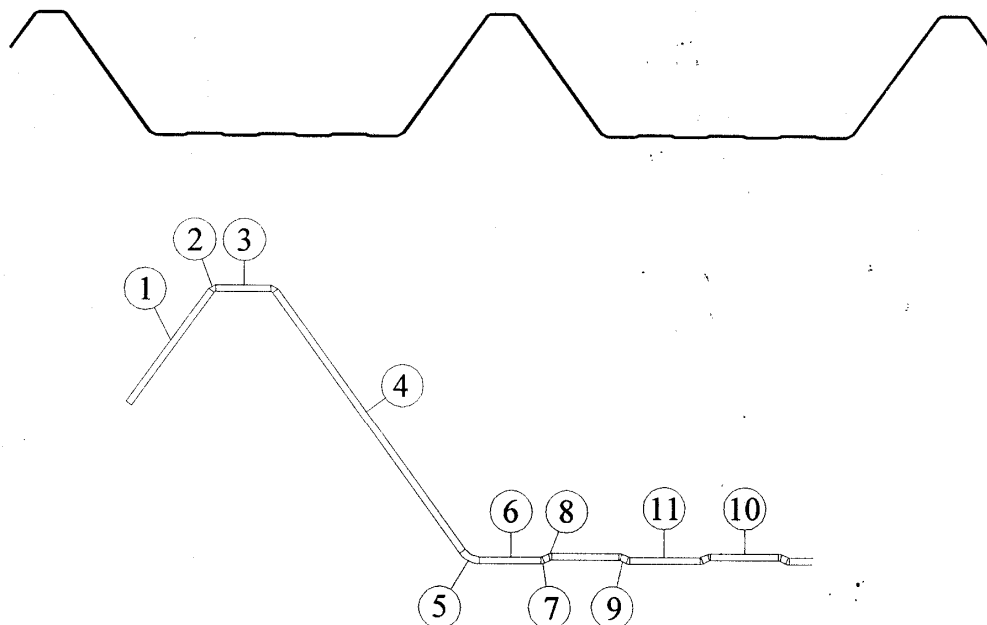
$$A = (1248.108 \text{ mm} \times 0.7493 \text{ mm})$$

$$A = 935.207 \text{ mm}^2 = 9.352 \text{ cm}^2$$

Ejemplo No. 2

Calcular las propiedades geométricas no reducidas del siguiente perfil, en una longitud de 100 cm.

R-90, calibre 26, fabricante IMSA



Ver Anexo No. 1 (pag. 58) para dimensiones de elementos del perfil R-90, IMSA

Elemento 1. (2 elementos)

Elemento recto inclinado

$$L = 61.598 \text{ mm}$$

Momento de inercia:

$$I = \frac{61.598 \text{ mm}}{12} (49.834 \text{ mm})^2$$

(Ec 3.8)

$$I = 12747.848 \text{ mm}^3$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 24.917 \text{ mm} + 1.547 \text{ mm} + 0.247 \text{ mm}$$

$$Y = 26.711$$

Elemento 2. (6 elementos)

Para elementos circulares con $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 54^\circ$ (ver art 3.3.2)

$$r = 3.507\text{mm} + \frac{0.493\text{mm}}{2}$$

$$r = 3.754\text{ mm}$$

Longitud del arco:

$$\text{(Ec 3.26): } L = 0.942\text{ rad } (3.754\text{ mm})$$

$$L = 3.536\text{ mm}$$

Momento de inercia:

(Ec 3.29):

$$I = \left[\frac{(0.942\text{rad} + \text{sen } 0.942\text{rad} \cos 0.942\text{rad})}{2} - \frac{(\text{sen } 0.942\text{rad})^2}{0.942} \right] (3.367\text{mm})^3$$

$$I = 0.554\text{ mm}^3$$

(Ec 3.27):

$$c = \frac{3.754\text{mm} \text{sen } 0.942\text{rad}}{0.942\text{rad}}$$

$$c = 3.223\text{ mm}$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 3.507\text{ mm} + 0.493\text{ mm} - 3.223\text{ mm}$$

$$Y = 0.777\text{ mm}$$

Elemento 3. (3 elementos)

Elemento recto horizontal

$$L = 24.124\text{ mm}$$

El momento de inercia es cero ya que el eje longitudinal coincide con el eje x

$$I = 0$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 0.247\text{ mm}$$

Elemento 4. (4 elementos)

Elemento recto inclinado

$$L = 142.213 \text{ mm}$$

Momento de inercia:

(Ec 3.8):

$$I = \frac{142.213 \text{ mm}}{12} (115.053 \text{ mm})^2$$

$$I = 156875.075 \text{ mm}^3$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 57.527 \text{ mm} + 1.547 \text{ mm} + 0.247 \text{ mm}$$

$$Y = 59.321 \text{ mm}$$

Elemento 5. (4 elementos)

Para elementos circulares con $\theta_1 = 0, \theta_2 = 54^\circ$ (ver art 3.3.2)

(Ec 3.26):

$$r = 8 \text{ mm} + \frac{0.493 \text{ mm}}{2}$$

$$r = 8.247 \text{ mm}$$

Longitud del arco:

$$L = 0.942 \text{ rad} (8.247 \text{ mm})$$

$$L = 7.769 \text{ mm}$$

Momento de inercia:

(Ec 3.29):

$$I = \left[\frac{(0.942 \text{ rad} + \sin 0.942 \text{ rad} \cos 0.942 \text{ rad})}{2} - \frac{(\sin 0.942 \text{ rad})^2}{0.942} \right] (8.247 \text{ mm})^3$$

$$I = 8.14 \text{ mm}^3$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 120.494 \text{ mm} - 8.493 \text{ mm} + 7.08 \text{ mm}$$

$$Y = 119.081 \text{ mm}$$

Elemento 6. (4 elementos)

Elemento recto horizontal

$$L = 27.711 \text{ mm}$$

El momento de inercia es cero ya que el eje longitudinal coincide con el eje x

$$I = 0$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 120.494 \text{ mm} - 0.247 \text{ mm}$$

$$Y = 120.247 \text{ mm}$$

Elemento 7. (12 elementos)

Para elementos circulares con $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 54^\circ$ (ver art 3.3.2)

$$r = 1 \text{ mm} + \frac{0.492 \text{ mm}}{2}$$

$$r = 1.247 \text{ mm}$$

Longitud del arco:

$$\text{(Ec 3.26): } L = 0.419 \text{ rad (1.247 mm)}$$

$$L = 0.522 \text{ mm}$$

Momento de inercia:

(Ec 3.29):

$$I = \left[\frac{(0.419 \text{ rad} + \sin 0.419 \text{ rad} \cos 0.419 \text{ rad})}{2} - \frac{(\sin 0.419 \text{ rad})^2}{0.419 \text{ rad}} \right] (1.247 \text{ mm})^3$$

$$I = 0.001 \text{ mm}^3$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 120.494 \text{ mm} - 1.493 \text{ mm} + 1.211 \text{ mm}$$

$$Y = 120.212 \text{ mm}$$

Elemento 8. (12 elementos)

Para elementos circulares con $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 54^\circ$ (ver art 3.3.2)

$$r = 0.507 \text{ mm} + \frac{0.493 \text{ mm}}{2}$$

$$r = 0.754 \text{ mm}$$

Longitud del arco:

$$\text{(Ec 3.26): } L = 0.419 \text{ rad (0.754 mm)}$$

$$L = 0.316 \text{ mm}$$

Momento de inercia:

(Ec 3.29):

$$I = \left[\frac{0.419 \text{ rad} + \text{sen } 0.419 \text{ rad} \cos 0.419 \text{ rad}}{2} - \frac{(\text{sen } 0.419 \text{ rad})^2}{0.419 \text{ rad}} \right] (0.316)^3$$

$$I = 0$$

$$c = \frac{0.754 \text{ mm} \text{sen } 0.419 \text{ rad}}{0.419 \text{ rad}}$$

$$c = 0.732 \text{ mm}$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 120.494 \text{ mm} - 0.354 \text{ mm} - 1.454 \text{ mm} - 0.065 \text{ mm} + 0.754 \text{ mm} - 0.932 \text{ mm}$$

$$Y = 118.643 \text{ mm}$$

Elemento 9. (12 elementos)

Elemento recto inclinado

$$L = 3.575 \text{ mm}$$

Momento de inercia:

(Ec 3.8):

$$I = \frac{3.575 \text{ mm}}{12} (1.454 \text{ mm})$$

$$I = 0.63 \text{ mm}^3$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 120.494 \text{ mm} - 0.354 \text{ mm} - 0.727 \text{ mm}$$

$$Y = 119.413 \text{ mm}$$

Elemento 10. (6 elementos)

Elemento recto horizontal

$$L = 31.575 \text{ mm}$$

El momento de inercia es cero ya que el eje longitudinal coincide con el eje x

$$I = 0$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 120.494 \text{ mm} - 0.354 \text{ mm} - 1.454 \text{ mm} - 0.065 \text{ mm}$$

$$Y = 118.621 \text{ mm}$$

Elemento 11. (4 elementos)

Elemento recto horizontal

$$L = 31.575 \text{ mm}$$

El momento de inercia es cero ya que el eje longitudinal coincide con el eje x

$$I = 0$$

Distancia del centroide a la fibra extrema superior:

$$Y = 120.494 \text{ mm} - 0.247 \text{ mm}$$

$$Y = 120.247 \text{ mm}$$

Elem.	L (mm)	Y (mm)	LY (mm ²)	LY ² (mm ³)	I (mm ³)
1	(61.598x2)	26.711	3290.688	87897.577	12747.848
2	(3.53x6)	0.777	16.485	12.809	0.554
3	(24.124x3)	0.247	17.876	4.415	0
4	(142.213x4)	59.321	33744.869	2001779.403	156875.075
5	(7.769x4)	119.081	3700.561	440666.523	8.14
6	(27.711x4)	120.247	13328.658	1602731.195	0
7	(0.522x12)	120.212	753.008	90520.594	0.001
8	(0.316x12)	118.643	449.894	53376.804	0
9	(3.575x12)	119.413	5122.818	611731.03	0.63
10	(31.575x6)	118.621	22472.748	2665739.894	0
11	(31.575x4)	120.247	15187.196	1826214.769	0
	1296.262		98084.801	9380675.013	169632.248

$$Y_{cg} = \frac{98084.801 \text{ mm}^2}{1296.262 \text{ mm}}$$

$$Y_{cg} = 75.67 \text{ mm} = 7.567 \text{ cm}$$

$$I_x = 0.493 \text{ mm} [(9380675.013 \text{ mm} + 169632.248 \text{ mm}) - ((75.674 \text{ mm})^2 \times 1296.262 \text{ mm})]$$
$$I = 1,048,705.933 \text{ mm}^4 = 104.871 \text{ cm}^4$$

$$S_{xs} = \frac{1048705.933 \text{ mm}^4}{75.674 \text{ mm}}$$
$$S_{xs} = 13,858 \text{ mm}^3 = 13.858 \text{ cm}^3$$

$$S_{xi} = \frac{1048705.933 \text{ mm}^4}{(120.494 \text{ mm} - 75.674 \text{ mm})}$$
$$S_{xi} = 23,398,000 \text{ mm}^3 = 23.398 \text{ cm}^3$$

$$A = 1296.262 \text{ mm} (0.493 \text{ mm})$$

$$A = 639.057 \text{ mm}^2 = 6.391 \text{ cm}^2$$