

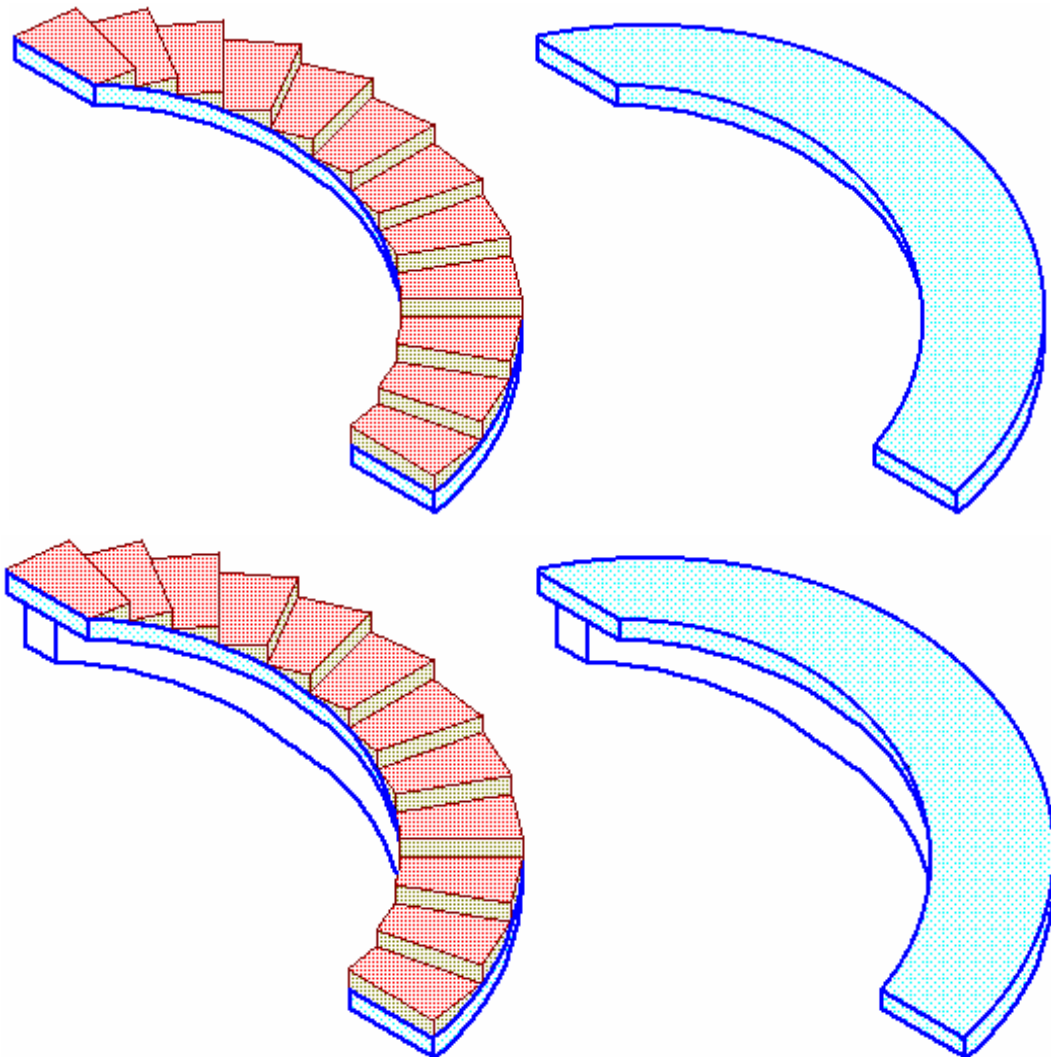


CAPÍTULO XV **ESCALERAS HELICOIDALES**

15.1 INTRODUCCIÓN:

Una de las geometrías arquitectónicas más elegantes y más populares para escaleras constituye la geometría helicoidal.

El desarrollo tridimensional de la escalera determina que la estructura se encuentre simultáneamente sometida a torsión, flexión, cortante y carga axial, aunque la última carece de importancia en el diseño.



Una escalera helicoidal es una estructura espacial de eje curvo que generalmente se encuentra sustentada en sus dos extremos opuestos.

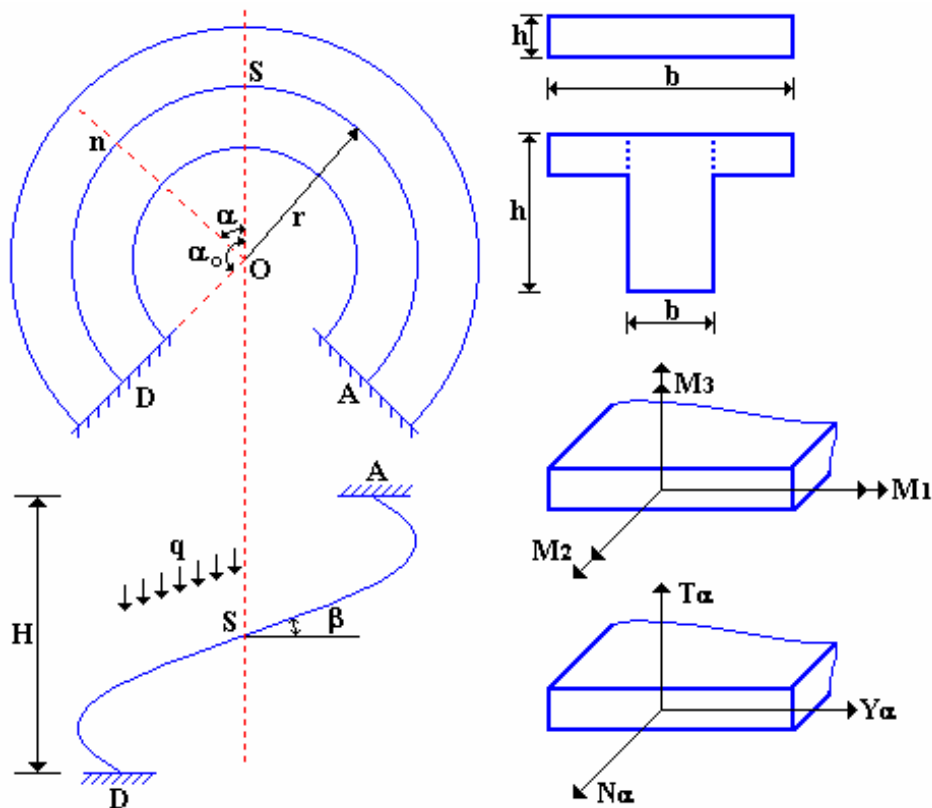
Existen 2 alternativas básicas de análisis y diseño de escaleras helicoidales:

- Emplear formularios preestablecidos para el efecto.

- Utilizar programas de análisis matricial espacial de estructuras, para lo que se requiere dividir a la estructura helicoidal en varios elementos longitudinales (alrededor de 5 segmentos por cada 90° de desarrollo).

15.2 FORMULARIO PARA EL CÁLCULO DE UNA ESCALERA HELICOIDAL (basado en el libro “Formulario del Ingeniero” de Ediciones URMO):

A continuación se presenta un formulario basado en la propuesta del libro “Formulario del Ingeniero” de Ediciones URMO, para el caso de escaleras helicoidales de sección transversal constante, sustentadas en losas o en vigas rectangulares, empotradas en sus dos extremos, sometidas a cargas verticales uniformes distribuidas longitudinalmente.



SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN EL FORMULARIO:

- H: desnivel entre el punto de arranque (D) y el punto de llegada (A) de la escalera helicoidal
- α_0 : mitad del ángulo de desarrollo horizontal de la escalera helicoidal
- β : ángulo de inclinación vertical de la escalera helicoidal
- α : ángulo horizontal medido desde el centro de la escalera hasta la sección en que se analizan las solicitaciones
- q: carga vertical uniforme distribuida sobre la proyección horizontal del eje longitudinal de la escalera
- r: radio horizontal del eje central de la escalera helicoidal



- b: ancho constante de la losa o viga de sección transversal rectangular, que sirve de sustento para la escalera helicoidal
- h: altura constante de la losa o viga de sección transversal rectangular de la escalera helicoidal
- E: módulo de elasticidad del material constitutivo de la escalera
- G: módulo de cortante del material constitutivo de la escalera
- I_1 : inercia de la sección transversal rectangular respecto al eje horizontal de la losa o viga rectangular
- I_t : inercia torsional de la sección transversal rectangular respecto al eje longitudinal de la losa o viga rectangular
- I_3 : inercia se la sección transversal rectangular respecto al eje vertical de la losa o viga rectangular
- $M_{1\alpha}$: momento flector respecto al eje horizontal de la losa o viga rectangular de la escalera helicoidal, calculado en la sección transversal ubicada a un ángulo α desde el centro de la escalera
- $M_{2\alpha}$: momento torsor respecto al eje longitudinal de la losa o viga rectangular de la escalera helicoidal, calculado en la sección transversal ubicada a un ángulo α desde el centro de la escalera
- $M_{3\alpha}$: momento flector respecto al eje vertical de la losa o viga rectangular de la escalera helicoidal, calculado en la sección transversal ubicada a un ángulo α desde el centro de la escalera
- Y_α : fuerza cortante horizontal en la losa o viga rectangular de la escalera helicoidal, calculada en la sección transversal ubicada a un ángulo α desde el centro de la escalera
- T_α : fuerza cortante vertical en la losa o viga rectangular de la escalera helicoidal, calculada en la sección transversal ubicada a un ángulo α desde el centro de la escalera
- N_α : fuerza axial en la losa o viga rectangular de la escalera helicoidal, calculada en la sección transversal ubicada a un ángulo α desde el centro de la escalera
- Y: fuerza cortante horizontal en la losa o viga rectangular de la escalera helicoidal, calculada en en el centro de la escalera helicoidal

a. FORMULARIO AUXILIAR:

A continuación se presenta un formulario de expresiones auxiliares de cálculo, el mismo que conviene utilizarlo en el mismo orden en que se presenta:

$$n_1 = \frac{I_3}{I_1}$$

(ecuación 1)

$$n_2 = \frac{E.I_3}{G.I_t}$$

(ecuación 2)



$$A_1 = n_1 \left[\text{Sen}\alpha_o - \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{4} - \frac{\alpha_o}{2} \right]$$

(ecuación 3)

$$A_2 = (n_2 \text{Cos}^2\beta + \text{Sen}^2\beta) \left[\text{Sen}\alpha_o + \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{4} - \frac{\alpha_o}{2} - \alpha_o \cdot \text{Cos}\alpha_o \right]$$

(ecuación 4)

$$B_1 = n_1 \left[\frac{\alpha_o}{2} + \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{4} \right] + (n_2 \text{Cos}^2\beta + \text{Sen}^2\beta) \left[\frac{\alpha_o}{2} - \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{4} \right]$$

(ecuación 5)

$$C_1 = -\frac{n_1}{\text{Cos}^2\beta} \left[\frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} - \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} \right]$$

(ecuación 7)

$$C_2 = n_2 \left[\frac{3\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} - \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} - \frac{\alpha_o}{2} \right]$$

(ecuación 8)

$$C_3 = \frac{\alpha_o}{2} - \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} (2 - \text{Tg}^2\beta) - \text{Tg}^2\beta \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4}$$

(ecuación 9)

$$D_1 = -n_1 \frac{\text{Tg}\beta}{\text{Cos}\beta} \left[\text{Sen}\alpha_o - \alpha_o \cdot \text{Cos}\alpha_o - \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} + \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} \right]$$

(ecuación 10)

$$D_2 = n_2 \cdot \text{Sen}\beta \left[3\alpha_o \cdot \text{Cos}\alpha_o - \frac{3\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} + \frac{\alpha_o}{2} + \{(\alpha_o)^2 - 3\} \text{Sen}\alpha_o + \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} \right]$$

(ecuación 11)

$$D_3 = \text{Sen}\beta \left[(1 - 2\text{Tg}^2\beta) (\text{Sen}\alpha_o - \alpha_o \cdot \text{Cos}\alpha_o) + \frac{2 - \text{Tg}^2\beta}{8} \text{Sen}(2\alpha_o) \right]$$

(ecuación 12)

$$D_4 = \text{Sen}\beta \left[\text{Tg}^2\beta \cdot \alpha_o \left\{ \alpha_o \cdot \text{Sen}\alpha_o + \frac{\text{Cos}(2\alpha_o)}{4} \right\} - \frac{\alpha_o}{2} \right]$$

(ecuación 13)

$$E_1 = n_1 \frac{\text{Tg}^2\beta}{\text{Cos}\beta} \left[\frac{(\alpha_o)^3}{6} - \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} - \frac{(\alpha_o)^2 \cdot \text{Sen}(2\alpha_o)}{4} + \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} \right]$$

(ecuación 14)



$$E_2 = n_2 \cdot \text{Sen}\beta \cdot \text{Tg}\beta \left[\frac{(\alpha_o)^3}{6} + \frac{3}{4} \alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o) - \frac{5}{8} \text{Sen}(2\alpha_o) + \frac{1}{4} (\alpha_o)^2 \text{Sen}(2\alpha_o) + \frac{\alpha_o}{2} \right]$$

(ecuación 15)

$$E_3 = \text{Cos}\beta \left[\frac{\text{Tg}^4\beta}{6} (\alpha_o)^3 - \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)(2 - 2\text{Tg}^2\beta + \text{Tg}^4\beta)}{8} + \frac{\text{Tg}^4\beta (\alpha_o)^2 \text{Sen}(2\alpha_o)}{4} \right]$$

(ecuación 16)

$$E_4 = \text{Cos}\beta \left[-\text{Tg}^2\beta(2 - \text{Tg}^2\beta) \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} + \frac{\alpha_o}{2} \right]$$

(ecuación 17)

b. FORMULARIO DE CORRIMIENTOS REFERENCIALES:

$$\theta_{Xq}^o = \frac{1}{E.I_3} \cdot \frac{q \cdot r^3}{\text{Cos}\beta} [A_1 + A_2]$$

(ecuación 18)

$$\vartheta_{XX} = \frac{1}{E.I_3} \cdot \frac{r}{\text{Cos}\beta} [B_1]$$

(ecuación 19)

$$\vartheta_{XY} = \frac{1}{E.I_3} \cdot r^2 \cdot \text{Sen}\beta [C_1 + C_2 + C_3]$$

(ecuación 20)

$$\Delta_{Yq}^o = \frac{1}{E.I_3} \cdot q \cdot r^4 [D_1 + D_2 + D_3 + D_4]$$

(ecuación 21)

$$\delta_{YY} = \frac{1}{E.I_3} \cdot r^3 [E_1 + E_2 + E_3 + E_4]$$

(ecuación 22)

c. FORMULARIO DE FUERZAS Y MOMENTOS EN EL CENTRO DE LA LUZ DE LA ESCALERA:

$$X = \frac{(\Delta_{Yq}^o \cdot \vartheta_{XY}) - (\theta_{Xq}^o \cdot \delta_{YY})}{(\vartheta_{XX} \cdot \delta_{YY}) - (\vartheta_{XY})^2}$$

(ecuación 23)

$$Y = \frac{(\theta_{Xq}^o \cdot \vartheta_{XY}) - (\Delta_{Yq}^o \cdot \vartheta_{XX})}{(\vartheta_{XX} \cdot \delta_{YY}) - (\vartheta_{XY})^2}$$

(ecuación 24)



d. FORMULARIO PARA MOMENTOS FLECTORES Y TORSORES EN LA ESCALERA:

$$M_{1\alpha} = -q \cdot r^2 \cdot (1 - \cos\alpha) - (\cos\alpha) \cdot X + r \cdot (\operatorname{Tg}\beta) \cdot \alpha \cdot (\operatorname{Sen}\alpha) \cdot Y$$

(ecuación 25)

$$M_{2\alpha} = -q \cdot r^2 \cdot (\cos\beta) \cdot (\alpha - \operatorname{Sen}\alpha) - (\cos\beta) \cdot (\operatorname{Sen}\alpha) \cdot X - r \cdot (\operatorname{Sen}\beta) \cdot (\alpha \cdot \cos\alpha - \operatorname{Sen}\alpha) \cdot Y$$

(ecuación 26)

$$M_{3\alpha} = -qr^2(\operatorname{Sen}\beta)(\alpha - \operatorname{Sen}\alpha) - (\operatorname{Sen}\beta)(\operatorname{Sen}\alpha)X - r(\cos\beta)\{\operatorname{Sen}\alpha + (\operatorname{Tg}\beta)^2 \alpha \cos\alpha\}Y$$

(ecuación 27)

Donde:

$M_{1\alpha}$: Momento flector respecto al eje horizontal de la losa o viga, medido a un ángulo α desde el centro de la escalera

$M_{2\alpha}$: Momento torsor respecto al eje longitudinal de la losa o viga, medido a un ángulo α desde el centro de la escalera

$M_{3\alpha}$: Momento flector respecto al eje vertical de la losa o viga, medido a un ángulo α desde el centro de la escalera

e. FORMULARIO PARA FUERZAS CORTANTES EN LA ESCALERA:

$$Y_{\alpha} = Y$$

(ecuación 28)

$$T_{\alpha} = q \cdot \alpha \cdot r$$

(ecuación 29)

Donde:

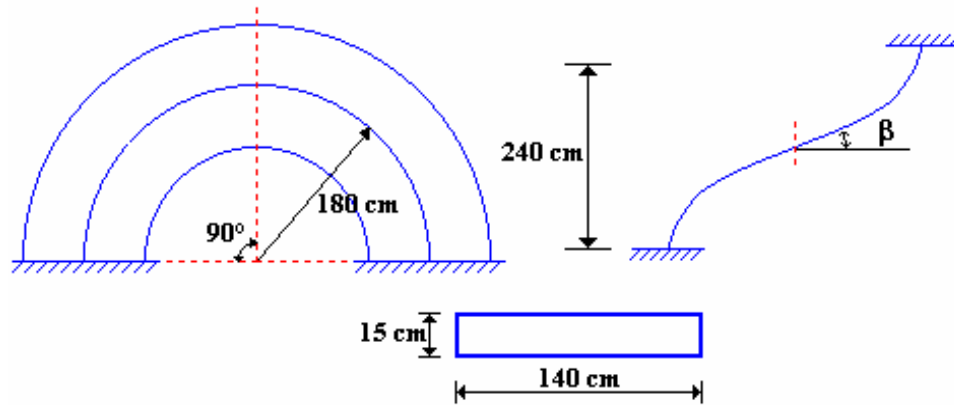
Y_{α} : fuerza cortante horizontal en la losa o viga rectangular de la escalera helicoidal, calculada en la sección transversal ubicada a un ángulo α desde el centro de la escalera

T_{α} : fuerza cortante vertical en la losa o viga rectangular de la escalera helicoidal, calculada en la sección transversal ubicada a un ángulo α desde el centro de la escalera

r : radio horizontal del eje central de la escalera helicoidal

EJEMPLO 15.1:

Diseñar una escalera helicoidal de hormigón armado que tiene un ángulo total de desarrollo en planta de 180° ; tiene un radio respecto al eje centroidal de 1.80 m.; tiene una losa de 1.40 m de ancho y 0.15 m de espesor; vence un desnivel de 2.40 m.; tiene una carga viva de 500 Kg/m^2 ; está construida con hormigón de 210 Kg/cm^2 de resistencia y utiliza acero de refuerzo de 4200 Kg/cm^2 de esfuerzo de fluencia.



Datos del ejemplo:

$L = 500 \text{ Kg/m}^2$

$\alpha_0 = 90^\circ = 1.57 \text{ rad.}$

$r = 180 \text{ cm.}$

$b = 140 \text{ cm.}$

$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

$F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

$\beta = \text{Tg}^{-1} \left(\frac{240\text{cm}}{(180\text{cm}) \cdot 3.141592} \right) = 23.01^\circ = 0.4014\text{rad.}$

Cargas:

peso propio de la losa: $0.15 \text{ m} \times 1.40 \text{ m} \times 1.00 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 504 \text{ Kg}$

se definen 14 escalones de 17.1 cm de contrahuella ($240/14=17.1$)
 y 40.4 cm de ancho promedio de la huella ($180 \times 3.14/14$)

peso de los escalones: $(0.171 \text{ m} / 2) \times 1.40 \text{ m} \times 1.00 \text{ m} \times 2000 \text{ Kg/m}^3 = 239 \text{ Kg}$

peso del enlucido inferior: $0.015 \times 1.40 \text{ m} \times 1.00 \text{ m} \times 2200 \text{ Kg/m}^3 = 46 \text{ Kg}$

peso del parquet: $0.015 \times 1.40 \text{ m} \cdot (0.171 + 0.404) / 0.404 \times 1.00 \text{ m} \times 1600 \text{ Kg/m}^3 = 48 \text{ Kg}$

Carga Permanente por metro de longitud **837 Kg**

Carga Viva por metro de longitud: $500 \text{ Kg/m}^2 \times 1.40 \text{ m} \times 1.00 \text{ m} =$ **700 Kg**

$q_D = 837 \text{ Kg/m}$

$q_L = 700 \text{ Kg/m}$

Carga Última

$q_U = 1.4 D + 1.7 L = 1.4 (837 \text{ Kg/m}) + 1.7 (700 \text{ Kg/m}) = 2362 \text{ Kg/m}$

$q_U = 23.6 \text{ Kg/cm}$

Características Geométricas y Elásticas:

$I_1 = \frac{(140\text{cm})(15\text{cm})^3}{12} = 39375\text{cm}^4$



$$I_3 = \frac{(15\text{cm})(140\text{cm})^3}{12} = 3430000\text{cm}^4$$

$$I_t = \frac{\left(\frac{b}{h} - 0.63\right)h^4}{3} = \frac{\left(\frac{140\text{cm}}{15\text{cm}} - 0.63\right)(15\text{cm})^4}{3} = 146869\text{cm}^4$$

$$E = 15000\sqrt{f'c} = 15000\sqrt{210} = 217371\text{Kg/cm}^2$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \frac{217371\text{Kg/cm}^2}{2(1 + 0.15)} = 94509\text{Kg/cm}^2$$

Fórmulario Auxiliar:

$$n_1 = \frac{I_3}{I_1}$$

$$n_1 = \frac{3430000\text{cm}^4}{39375\text{cm}^4} = 87.11$$

$$n_2 = \frac{E.I_3}{G.I_t}$$

$$n_2 = \frac{(217371\text{Kg/cm}^2).(3430000\text{cm}^4)}{(94509\text{Kg/cm}^2).(146869\text{cm}^4)} = 53.71$$

$$A_1 = n_1 \left[\text{Sen}\alpha_o - \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{4} - \frac{\alpha_o}{2} \right]$$

$$A_1 = (87.11) \left[\text{Sen}(1.57\text{rad}) - \frac{\text{Sen}(3.14\text{rad})}{4} - \frac{1.57}{2} \right] = 18.694204$$

$$A_2 = (n_2 \text{Cos}^2\beta + \text{Sen}^2\beta) \left[\text{Sen}\alpha_o + \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{4} - \frac{\alpha_o}{2} - \alpha_o \cdot \text{Cos}\alpha_o \right]$$

$$A_2 = [(53.71)(\text{Cos}0.4014)^2 + (\text{Sen}0.4014)^2] \left[\text{Sen}(1.5708) + \frac{\text{Sen}(3.1416)}{4} - \frac{1.5708}{2} - (1.5708) \cdot \text{Cos}(1.5708) \right]$$

$$A_2 = 9.8005609$$

$$B_1 = n_1 \left[\frac{\alpha_o}{2} + \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{4} \right] + (n_2 \text{Cos}^2\beta + \text{Sen}^2\beta) \left[\frac{\alpha_o}{2} - \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{4} \right] = 104.28494$$

$$C_1 = -\frac{n_1}{\text{Cos}^2\beta} \left[\frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} - \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} \right] = -40.37031$$

$$C_2 = n_2 \left[\frac{3\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} - \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} - \frac{\alpha_o}{2} \right] = -21.09367$$

$$C_3 = \frac{\alpha_o}{2} - \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} (2 - \text{Tg}^2\beta) - \text{Tg}^2\beta \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} = 0.8561334$$

$$D_1 = -n_1 \frac{\text{Tg}\beta}{\text{Cos}\beta} \left[\text{Sen}\alpha_o - \alpha_o \cdot \text{Cos}\alpha_o - \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} + \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} \right] = -24.39104$$



$$D_2 = n_2 \cdot \text{Sen}\beta \left[3\alpha_o \cdot \text{Cos}\alpha_o - \frac{3\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} + \frac{\alpha_o}{2} + \{(\alpha_o)^2 - 3\} \text{Sen}\alpha_o + \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} \right] = -2.935849$$

$$D_3 = \text{Sen}\beta \left[(1 - 2\text{Tg}^2\beta) (\text{Sen}\alpha_o - \alpha_o \cdot \text{Cos}\alpha_o) + \frac{2 - \text{Tg}^2\beta}{8} \text{Sen}(2\alpha_o) \right] = 0.2499382$$

$$D_4 = \text{Sen}\beta \left[\text{Tg}^2\beta \cdot \alpha_o \left\{ \alpha_o \cdot \text{Sen}\alpha_o + \frac{\text{Cos}(2\alpha_o)}{4} \right\} - \frac{\alpha_o}{2} \right] = -0.16084$$

$$E_1 = n_1 \frac{\text{Tg}^2\beta}{\text{Cos}\beta} \left[\frac{(\alpha_o)^3}{6} - \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} - \frac{(\alpha_o)^2 \cdot \text{Sen}(2\alpha_o)}{4} + \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)}{8} \right] = 17.704765$$

$$E_2 = n_2 \cdot \text{Sen}\beta \cdot \text{Tg}\beta \left[\frac{(\alpha_o)^3}{6} + \frac{3}{4} \alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o) - \frac{5}{8} \text{Sen}(2\alpha_o) + \frac{1}{4} (\alpha_o)^2 \cdot \text{Sen}(2\alpha_o) + \frac{\alpha_o}{2} \right] = 2.2556972$$

$$E_3 = \text{Cos}\beta \left[\frac{\text{Tg}^4\beta}{6} (\alpha_o)^3 - \frac{\text{Sen}(2\alpha_o)(2 - 2\text{Tg}^2\beta + \text{Tg}^4\beta)}{8} + \frac{\text{Tg}^4\beta (\alpha_o)^2 \cdot \text{Sen}(2\alpha_o)}{4} \right] = 0.0192929$$

$$E_4 = \text{Cos}\beta \left[-\text{Tg}^2\beta(2 - \text{Tg}^2\beta) \frac{\alpha_o \cdot \text{Cos}(2\alpha_o)}{4} + \frac{\alpha_o}{2} \right] = 0.6044797$$

Corrimientos Referenciales:

$$\theta_{Xq}^0 = \frac{1}{E.I_3} \cdot \frac{qr^3}{\text{Cos}\beta} [A_1 + A_2] = 0.0057143$$

$$\vartheta_{XX} = \frac{1}{E.I_3} \cdot \frac{r}{\text{Cos}\beta} [B_1] = 2.73504E - 08$$

$$\vartheta_{XY} = \frac{1}{E.I_3} \cdot r^2 \cdot \text{Sen}\beta [C_1 + C_2 + C_3] = -1.02897E - 06$$

$$\Delta_{Yq}^0 = \frac{1}{E.I_3} \cdot qr^4 [D_1 + D_2 + D_3 + D_4] = -0.905063271$$

$$\delta_{YY} = \frac{1}{E.I_3} \cdot r^3 [E_1 + E_2 + E_3 + E_4] = 0.000161012$$

Fuerzas y Momentos en el Centro de la Luz:

$$X = \frac{(\Delta_{Yq}^0 \cdot \vartheta_{XY}) - (\theta_{Xq}^0 \cdot \delta_{YY})}{(\vartheta_{XX} \cdot \delta_{YY}) - (\vartheta_{XY})^2} = 3352.53 \text{Kg} - \text{cm}$$

$$Y = \frac{(\theta_{Xq}^0 \cdot \vartheta_{XY}) - (\Delta_{Yq}^0 \cdot \vartheta_{XX})}{(\vartheta_{XX} \cdot \delta_{YY}) - (\vartheta_{XY})^2} = 5642.53 \text{Kg}$$

Momentos Flectores y Torsores en la Escalera:

Los momentos flectores (M_{1a} y M_{3a}) y torsores (M_{2a}) en cada sección de la estructura se calculan mediante las siguientes expresiones:



$$M_{1\alpha} = -q \cdot r^2 \cdot (1 - \cos\alpha) - (\cos\alpha) \cdot X + r \cdot (\operatorname{Tg}\beta) \cdot \alpha \cdot (\operatorname{Sen}\alpha) \cdot Y$$

$$M_{2\alpha} = -q \cdot r^2 \cdot (\cos\beta) \cdot (\alpha - \operatorname{Sen}\alpha) - (\cos\beta) \cdot (\operatorname{Sen}\alpha) \cdot X - r \cdot (\operatorname{Sen}\beta) \cdot (\alpha \cdot \cos\alpha - \operatorname{Sen}\alpha) \cdot Y$$

$$M_{3\alpha} = -q \cdot r^2 \cdot (\operatorname{Sen}\beta) \cdot (\alpha - \operatorname{Sen}\alpha) - (\operatorname{Sen}\beta) \cdot (\operatorname{Sen}\alpha) \cdot X - r \cdot (\cos\beta) \cdot [\operatorname{Sen}\alpha + (\operatorname{Tg}\beta)^2 \cdot \alpha \cdot \cos\alpha] \cdot Y$$

Se prepara una tabla evaluando las expresiones anteriores cada 10°:

a (grad)	a (rad.)	b (rad.)	r (cm)	q (Kg/cm)	X (Kg-cm)	Y (Kg)	M1a (Kg-cm)	M2a (Kg-cm)	M3a (Kg-cm)
0.00	0.00000	0.40137	180	23.6	3352.53	5642.53	-3352.53	0.00	0.00
10.00	0.17453	0.40137	180	23.6	3352.53	5642.53	-1853.99	-457.58	-191787.74
20.00	0.34907	0.40137	180	23.6	3352.53	5642.53	2199.13	-457.38	-377559.72
30.00	0.52360	0.40137	180	23.6	3352.53	5642.53	7504.91	317.55	-551536.83
40.00	0.69813	0.40137	180	23.6	3352.53	5642.53	11977.33	1910.69	-708404.43
50.00	0.87266	0.40137	180	23.6	3352.53	5642.53	12868.15	3975.24	-843522.82
60.00	1.04720	0.40137	180	23.6	3352.53	5642.53	6929.79	5680.35	-953112.49
70.00	1.22173	0.40137	180	23.6	3352.53	5642.53	-9388.10	5646.23	-1034407.23
80.00	1.39626	0.40137	180	23.6	3352.53	5642.53	-39717.49	1913.08	-1085769.16
90.00	1.57080	0.40137	180	23.6	3352.53	5642.53	-87536.12	-8053.27	-1106761.33

Con estos valores tabulados se procede al diseño a flexión y torsión de cada sección de la escalera, para resistir cada una de las solicitaciones. Se aprovecha que por simetría el diseño de las secciones desde el centro hacia el arranque izquierdo es similar al diseño desde el centro hacia el arranque derecho.

Fuerzas Cortantes en la Escalera:

Las fuerzas cortantes (Y_a y T_a) en cada sección de la estructura se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$Y_{\alpha} = Y$$

$$T_{\alpha} = q \cdot \alpha \cdot r$$

Se prepara una tabla evaluando las expresiones anteriores cada 10°:

a (grad)	a (rad.)	r (cm)	q (Kg/cm)	Ya (Kg)	Ta (Kg)
0.00	0.00000	180	23.6	5642.53	0
10.00	0.17453	180	23.6	5642.53	741
20.00	0.34907	180	23.6	5642.53	1483
30.00	0.52360	180	23.6	5642.53	2224
40.00	0.69813	180	23.6	5642.53	2966
50.00	0.87266	180	23.6	5642.53	3707
60.00	1.04720	180	23.6	5642.53	4449
70.00	1.22173	180	23.6	5642.53	5190
80.00	1.39626	180	23.6	5642.53	5931
90.00	1.57080	180	23.6	5642.53	6673