

CAPITULO 5

PROBLEMAS DE TABLESTACADO Y ENTIBACIÓN

5.1 Caso 1. Tablestacado en suelo arenoso en presencia de nivel freático¹

La figura 5.1 muestra la tablestaca en voladizo en suelo granular. Resolver:

- ¿Cuál es la profundidad, D , teórica de empotramiento?
- Para un incremento de 30% en D , ¿cuál debe ser la longitud total de tablestacas?
- ¿Cuál debe ser el módulo de sección mínimo de tablestacas?

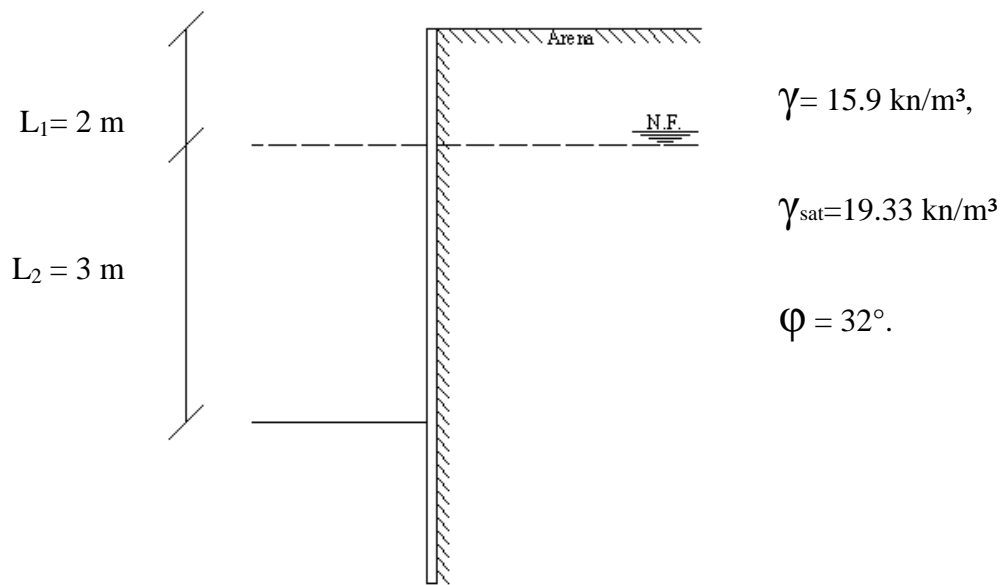


Figura 5.1

Solución:

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2) = \tan^2 (45 - 32/2) = \mathbf{0.307}$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2) = \tan^2 (45 + 32/2) = \mathbf{3.25}$$

¹ Braja M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, cuarta edición, Editorial Thomson, 2001 pág. 462

$$p_1 = \gamma L_1 K_a = (15.9)(2)(0.307) = \mathbf{9.763 \text{ kn/m}^2}.$$

$$p_2 = (\gamma L_1 + \gamma L_2) K_a = [(15.9)(2) + (19.33 - 9.81)(3)](0.307) = \mathbf{18.53 \text{ kn/m}^2}.$$

$$L_3 = \frac{p_2}{\gamma'(K_p - K_a)} = \frac{18.53}{(19.33 - 9.81)(3.25 - 0.307)} = \mathbf{0.66 \text{ m}}.$$

$$P = \frac{1}{2} p_1 L_1 + p_1 L_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) L_2 + \frac{1}{2} p_2 L_3$$

$$P = \frac{1}{2} (9.763)(2) + (9.763)(3) + \frac{1}{2} (18.53 - 9.763)(3) + \frac{1}{2} (18.53)(0.66)$$

$$9.763 + 29.289 + 13.151 + 6.115 = \mathbf{58.32 \text{ kn/m}}.$$

$$\check{Z} = \frac{\sum M_E}{P} = \frac{58.32 [9.763 (0.66 + 3 + \frac{2}{3}) + 29.289 (0.66 + 3/2) + 13.151 (0.66 + 3/5) + 6.115 (0.66 * \frac{2}{3})]}{P} = \mathbf{2.23 \text{ m}}.$$

$$P_5 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_p + \gamma' L_3 (K_p - K_a) =$$

$$P_5 = [(15.9)(2) + (19.33 - 9.81)(3)](3.25) + (19.33 - 9.81)(0.66)(3.25 - 0.307)$$

$$P_5 = \mathbf{214.66 \text{ kn/m}^2}.$$

$$A_1 = \frac{p_5}{\gamma'(K_p - K_a)} = \frac{214.66}{(19.33 - 9.81)(3.25 - 0.307)} = \mathbf{7.66}$$

$$A_2 = \frac{8P}{\gamma'(K_p - K_a)} = \frac{(8)(58.32)}{(19.33 - 9.81)(3.25 - 0.307)} = \mathbf{16.65}$$

$$A_3 = \frac{6P [2\check{Z}\gamma'(K_p - K_a) + p_5]}{\gamma'^2 (K_p - K_a)^2} =$$

$$A_3 = \frac{(6)(58.32)[(2)(2.23)(19.33 - 9.81)(3.25 - 0.307) + 214.66]}{(19.33 - 9.81)^2(3.25 - 0.307)^2} = \mathbf{151.93}$$

$$A_4 = \frac{P[6\check{z}p_5 + 4P]}{\gamma^2(K_p - K_a)^2} = \frac{58.32[(6)(2.23)(214.66) + (4)(58.32)]}{(19.33 - 9.81)^2(3.25 - 0.307)^2} = \mathbf{230.72}$$

$$L_4^4 + A_1 L_4^3 - A_2 L_4^2 - A_3 L_4 - A_4 = 0$$

$$L_4^4 + 7.66 L_4^3 - 16.55 L_4^2 - 151.93 L_4 - 230.72 = 0; \quad \mathbf{L_4 \text{ tiende a } 4.8 \text{ m.}}$$

$$D_{\text{teórico}} = L_3 + L_4 = 0.66 + 4.8 = \mathbf{5.46 \text{ m.}}$$

Parte b

Longitud total de las tablestacas:

$$L_1 + L_2 + 1.3(L_3 + L_4) = 2 + 3 + 1.3(5.46) = \mathbf{12.1 \text{ m.}}$$

Parte c

$$Z' = \frac{\sqrt{2P}}{(K_p - K_a)\gamma'} = \frac{\sqrt{(2)(58.32)}}{(3.25 - 0.307)(19.33 - 9.81)}$$

$$M_{\text{máx}} = P(\check{z} + z') - \left[\frac{1}{2} \gamma z'^2 (K_p - K_a) \right] \frac{1}{3} z' =$$

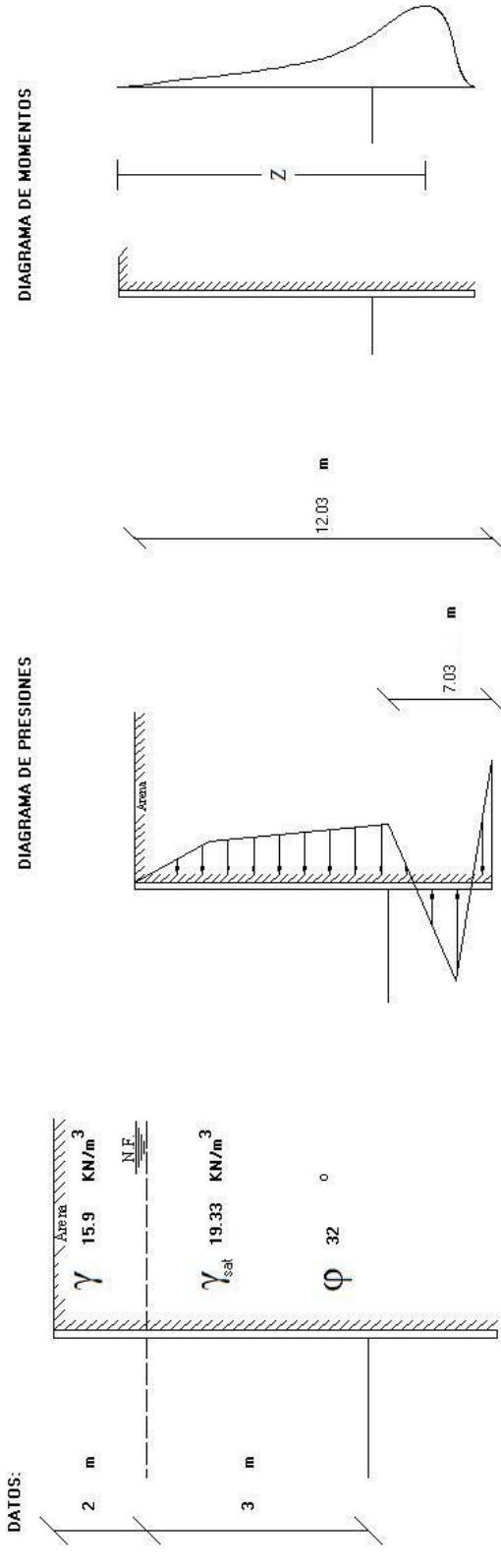
$$M_{\text{máx}} = (58.32)(2.23 + 2.04) - \left[\frac{1}{2}(19.33 - 9.81)(2.04)^2(3.25 - 0.307) \right] \frac{1}{3} 2.04$$

$$M_{\text{máx}} = \mathbf{209.39 \text{ kn}\cdot\text{m/m}}$$

$$S = \frac{M_{\text{máx}}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{209.39 \text{ kn}\cdot\text{m}}{172 \times 10^3 \text{ kn/m}^2} = \mathbf{1.217 \text{ E-3 m}^3/\text{m de tablestaca}}$$

La figura 5.2 muestra la solución del caso 1 resuelto en el programa G.A.L.A.:

TABLESTACADO EN SUELO ARENOSO Y CON PRESENCIA DE NIVEL FREATICO



FACTOR DE SEGURIDAD: 1.3

EZFUERZO ADMISIBLE DE LA TABLESTACA σ_{adm} 172.5 Mn/m²

RESUMEN DE RESULTADO

PROFUNDIDAD DE PENETRACION 7.03 m

LONGITUD TOTAL DE TABLESTACA 12.03 m

MOMENTO MAXIMO 209.57 KN.m/m

SECCION REQUERIDA 1214.94 cm³/m

TABLESTACAS SUGERIDAS

MODELO LARSEN IIIn

MODULO DE SECCION 1100 cm³/m

SECCION U

Figura 5.2 Impresión de resultados del programa G.A.L.A.

5.2 Caso 2. Tablestacado en suelo arenoso en ausencia de nivel freático²

La figura 5.3 muestra la tablestaca en voladizo en suelo granular, suponiendo la ausencia de un nivel freático. Resolver:

- ¿Cuál es la profundidad, D teórica de empotramiento?
- Para un incremento de 30% en D , ¿cuál debe ser la longitud total de tablestacas?

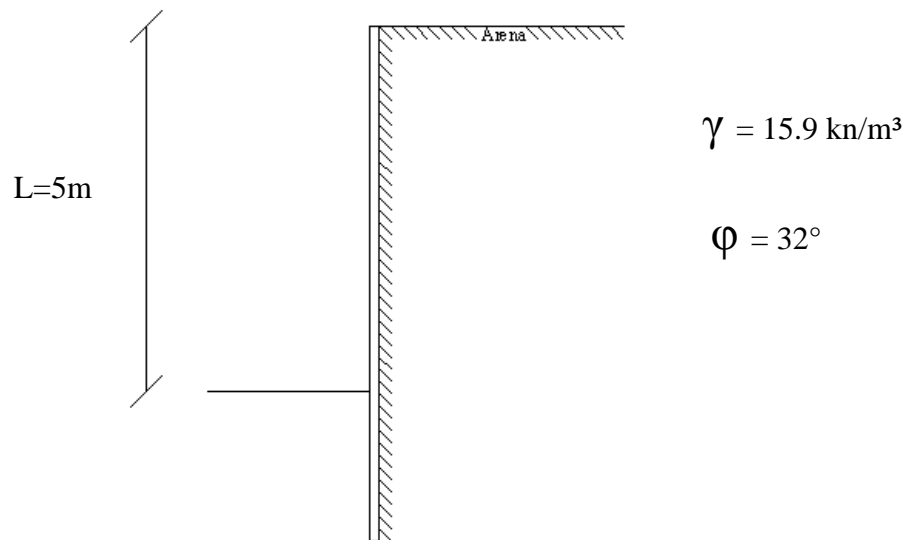


Figura 5.3

Solución:

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2) = \tan^2 (45 - 32/2) = \mathbf{0.307}$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2) = \tan^2 (45 + 32/2) = \mathbf{3.25}$$

$$P_2 = \gamma L K_a = (15.9) (5) (0.307) = \mathbf{24.41 \text{ kn/m}^2}.$$

$$L_3 = \frac{L K_a}{(K_p - K_a)} = \frac{(5) (0.307)}{(3.25 - 0.307)} = \mathbf{0.521 \text{ m.}}$$

² Braja M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, cuarta edición, Editorial Thomson, 2001 pág. 467

$$P_5 = \gamma L K_p + \gamma L_3 (K_p - K_a) = (15.9)(5)(3.25) + (15.9)(0.521) = \mathbf{282.76 \text{ kn/m}^2}.$$

$$P = \frac{1}{2} p_2 L + \frac{1}{2} p_2 L_3 = \frac{1}{2} p_2 (L + L_3) = \frac{1}{2} (24.41)(5 + 0.521) = \mathbf{67.38 \text{ kn/m}}.$$

$$\check{Z} = \frac{L(2K_a - K_p)}{3(K_p - K_a)} = \frac{5[(2)(0.307) + 3.25]}{3(3.25 - 0.307)} = \mathbf{2.188 \text{ m}}.$$

$$A'_1 = \frac{p_5}{\gamma(K_p - K_a)} = \frac{282.76}{(15.9)(3.25 - 0.307)} = \mathbf{6.04}$$

$$A'_2 = \frac{8P}{\gamma(K_p - K_a)} = \frac{(8)(67.38)}{(15.9)(3.25 - 0.307)} = \mathbf{11.52}$$

$$A'_3 = \frac{6P[2\check{Z}\gamma(K_p - K_a) + p_5]}{\gamma^2(K_p - K_a)^2} = \frac{(6)(67.38)[(2)(2.188)(15.9)(3.25 - 0.307) + 282.76]}{(15.9)^2(3.25 - 0.307)^2}$$

$$A'_3 = \mathbf{90.01}$$

$$A'_4 = \frac{P(6\check{z}p_5 + 4P)}{\gamma^2(K_p - K_a)^2} = \frac{(67.38)[(6)(2.188)(282.76) + (4)(67.38)]}{(15.9)^2(3.25 - 0.307)^2} = \mathbf{122.52}$$

$$L_4 = L_4^4 + A'_1 L_4^3 - A'_2 L_4^2 - A'_3 L_4 - A'_4$$

$$L_4^4 + 6.04 L_4^3 - 11.52 L_4^2 - 90.01 L_4 - 122.52 = 0; \mathbf{L_4 \text{ tiende a } 4.1 \text{ m}}.$$

$$D_{\text{teórico}} = L_3 + L_4 = 0.521 + 4.1 = \mathbf{4.7 \text{ m}}.$$

Parte b

$$\text{Longitud total, } L + 1.3(D_{\text{teórico}}) = 5 + 1.3(4.7) = \mathbf{11.11 \text{ m}}.$$

La figura 5.4 muestra la solución del caso 2 resuelto en el programa G.A.L.A.:

TABLESTACADO EN SUELO ARENOSO Y SIN PRESENCIA DE NIVEL FREATICO

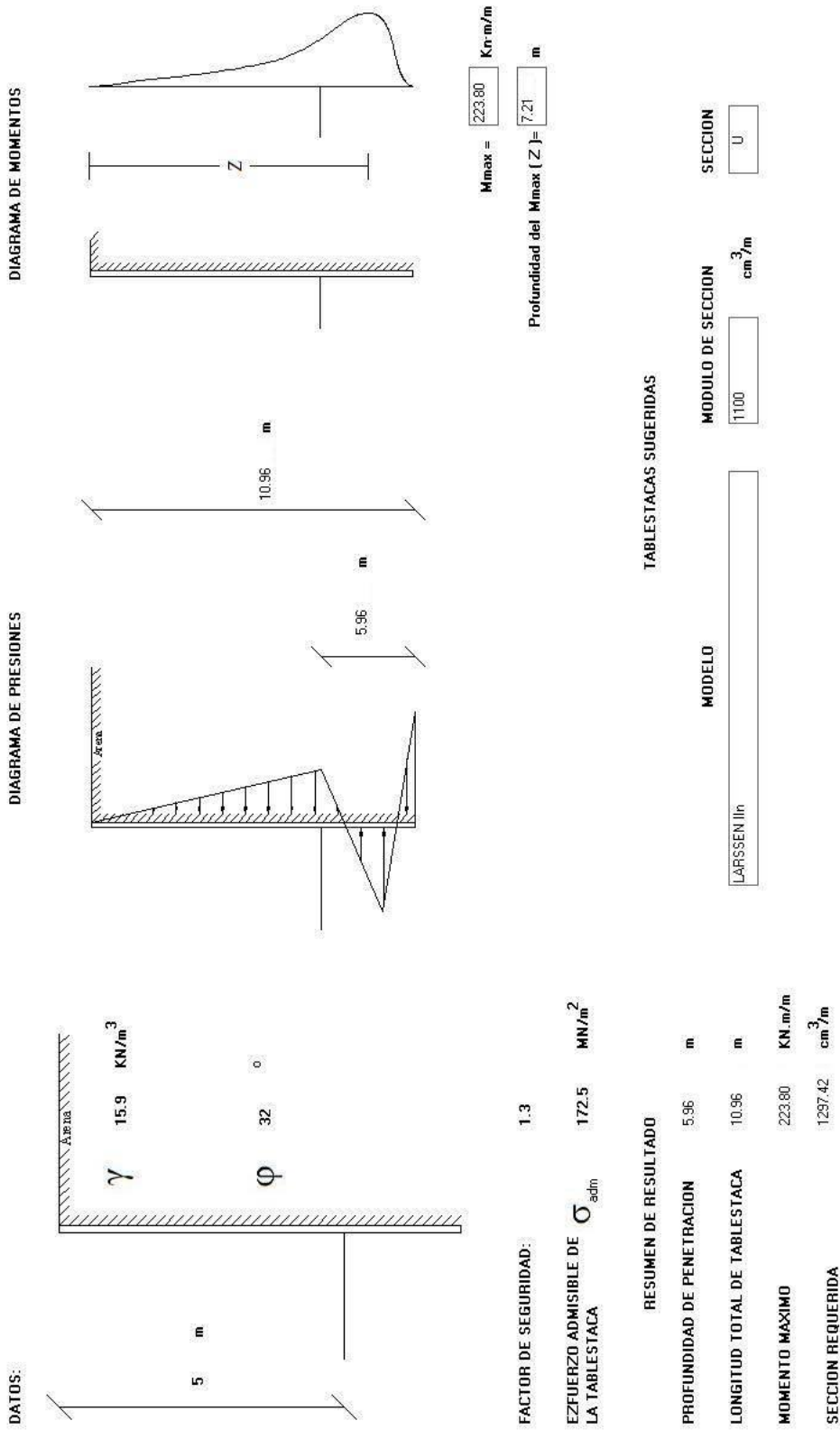


Figura 5.4 Impresión de resultados del programa G.A.L.A.

5.3 Caso 3. Tablestacado en suelo arcilloso en presencia de nivel freático³

Refiérase a la figura 5.5. Para tablestaca, determine:

- Profundidad teórica y real de penetración. Use $D_{real} = 1.5D_{teoría}$.
- Tamaño mínimo de sección de tablestaca necesaria. Use $\sigma_{adm} = 172 \text{ MN/m}^2$.

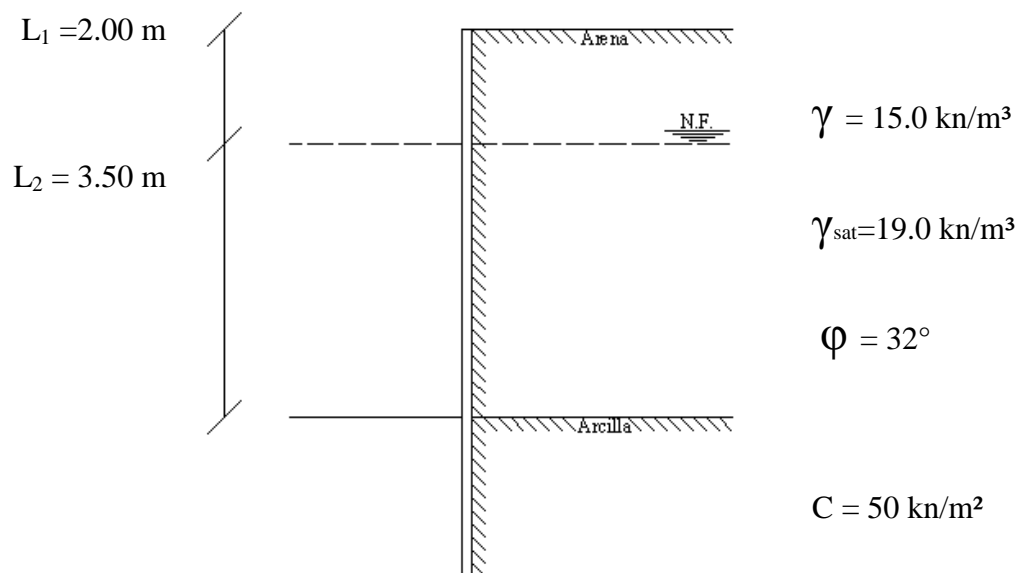


Figura 5.5

Solución:

Parte a

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2) = \tan^2 (45 - 32/2) = \mathbf{0.307}$$

$$P_1 = \gamma L_1 K_a = (15) (2) (0.307) = \mathbf{9.21 \text{ kn/m}^2}$$

$$P_2 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_a = [(15) (2) + (19 - 9.81) (3.5)] (0.307) = \mathbf{19.08 \text{ kn/m}^2}$$

$$P_1 = \frac{1}{2} p_1 L_1 + p_1 L_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) L_2$$

$$P_1 = \frac{1}{2} (9.21) (2) + (9.21) (3.5) + \frac{1}{2} (19.08 - 9.21) (3.5) = 9.21 + 32.24 + 17.27$$

³ Braja M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, cuarta edición, Editorial Thomson, 2001 pág. 472

$$P_1 = 58.72 \text{ kn/m.}$$

$$\check{Z}_1 = \frac{\Sigma M_E}{P_1} = \frac{1}{58.72} [9.21 (3.5 + \frac{2}{3}) + 32.24 ((\frac{1}{2}) 3.5)] + (17.27) ((\frac{1}{3}) 3.5)] = 1.957 \text{ m.}$$

$$D_{\text{teórico}} = \frac{D^2 [4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)] - 2DP_1 - P_1 (P_1 + 12c\check{z}_1)}{(\gamma L_1 + \gamma' L_2) + 2c} = 0$$

$$D^2 \{ (4) (50) - [(15) (2) + (19 - 9.81) (3.5)] \} - (2) (D) (58.72) - \frac{58.72 [58.72 + (12) (50) (1.957)]}{[(15) (2) + (19 - 9.81) (3.5)] + (5) (50)} = 0$$

$$137.84 D^2 - 117.44 D - 446.44 = 0$$

D tiende a 2.3 m.

$$D_{\text{real}} = 1.5D_{\text{teórica}} = (1.5) (2.3) = 3.45 \text{ m.}$$

Parte b

$$Z' = \frac{P_1}{P_6} = \frac{58.72}{4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)} = \frac{58.72}{(4) (50) - [(15) (2) + (19 - 9.81) (3.5)]} = 0.426 \text{ m.}$$

$$M_{\text{máx}} = P_1 (z' + \check{z}_1) - \frac{1}{2} p_6 z'^2 = P_1 (z' + \check{z}_1) - [4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)] z'^2 =$$

$$M_{\text{máx}} = (58.72) (0.426 + 1.957) - \{ (4) (50) - [(15) (2) + (19 - 9.81) (3.5)] \} \frac{1}{2} (0.426)^2$$

$$M_{\text{máx}} = 127.42 \text{ kn}\cdot\text{m/m.}$$

$$S = \frac{M_{\text{máx}}}{\Sigma_{\text{adm}}} = \frac{127.42}{172 \text{ E } 3} = 0.741 \text{ E } -3 \text{ m}^3/\text{m de tablaestaca.}$$

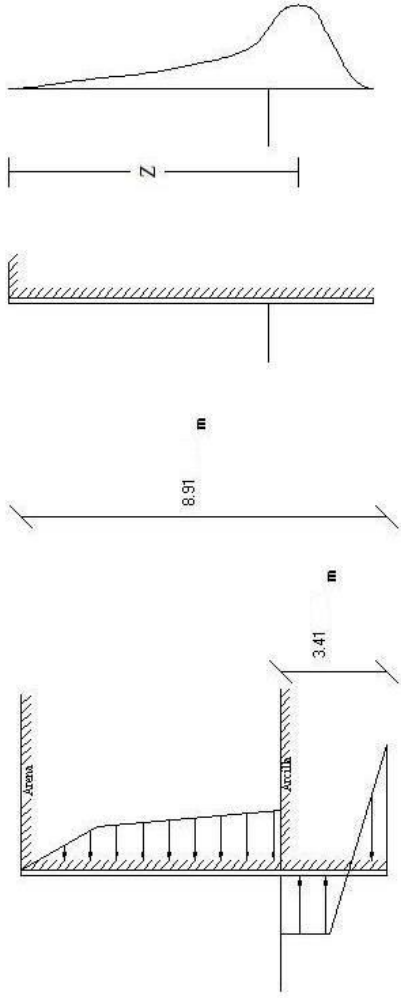
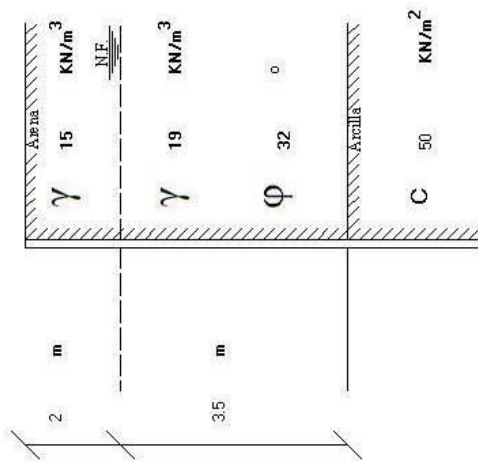
La figura 5.6 muestra la solución del caso 3 resuelto en el programa GA.L.A.:

TABLESTACADO EN SUELO ARCILLOSO Y CON PRESENCIA DE NIVEL FREATICO

DIAGRAMA DE PRESIONES

DIAGRAMA DE MOMENTOS

DATOS:



Mmax= 127.57 KN·m/m
 Profundidad del Mmax (Z) = 5.92 m

FACTOR DE SEGURIDAD: 1.5
 EFUERZO ADMISIBLE DE LA TABLESTACA σ_{adm} 172.5 MN/m²
 RESUMEN DE RESULTADO
 PROFUNDIDAD DE PENETRACION 3.41 m
 LONGITUD TOTAL DE TABLESTACA 8.91 m
 MOMENTO MAXIMO 127.57 KN·m/m

TABLESTACA SUGERIDA

MODELO RHEINHAUSEN (KRUPP) KS I
 MODULO DE SECCION 630 cm⁴/m
 SECCION Z

Figura 5.6 Impresión de resultados del programa G.A.L.A.

5.4 Caso 4. Tablestacado anclado en suelo arenoso en presencia de nivel freático⁴

Refiérase a la figura 5.7:

- Determine las profundidades teórica y real de penetración. Nota: $D_{real} = 1.3D_{teórica}$.
- Encuentre la fuerza en el ancla por unidad de longitud de la tablestaca.

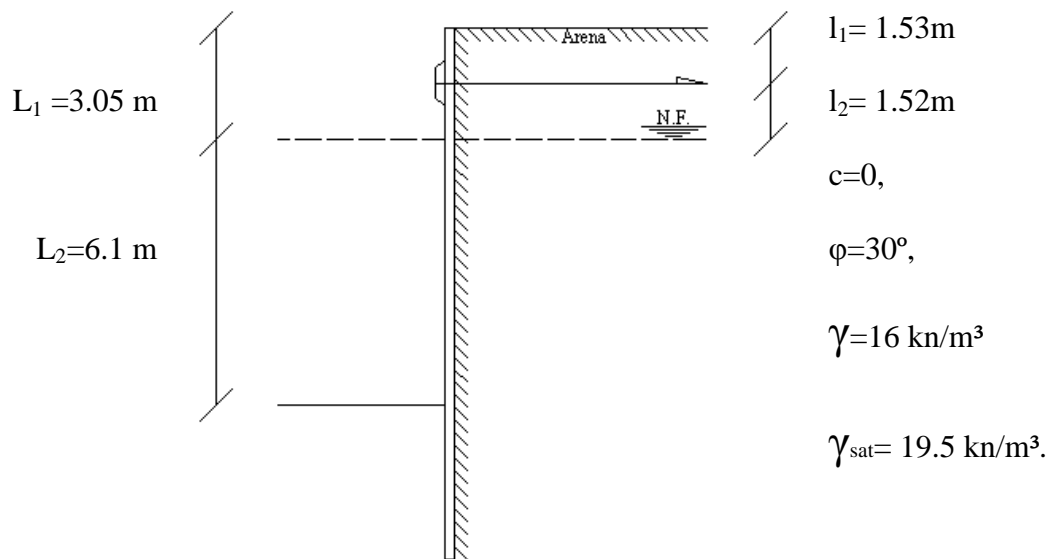


Figura 5.7

Solución:

Parte a

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{30}{2} \right) = \mathbf{1/3}$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 + \frac{30}{2} \right) = \mathbf{3}$$

$$K_a - K_p = 3 - 0.333 = \mathbf{2.667}$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 19.5 - 9.81 = \mathbf{9.69 \text{ kn/m}^3}.$$

$$p_1 = \gamma L_1 K_a = (16) (3.05) (1/3) = \mathbf{16.27 \text{ kn/m}^2}.$$

⁴ Braja M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, cuarta edición, Editorial Thomson, 2001 pág. 479

$$p_2 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_a = [(16)(3.05) + (9.69)(6.1)] / 3 = \mathbf{35.97 \text{ kn/m}^2}.$$

$$L_3 = \frac{p_2}{\gamma' (K_p - K_a)} = \frac{35.97}{(9.69)(2.667)} = \mathbf{1.39 \text{ m.}}$$

$$P = \frac{1}{2} p_1 L_1 + p_1 L_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) L_2 + \frac{1}{2} p_2 L_3$$

$$P = (\frac{1}{2})(16.27)(3.05) + (16.27)(6.1) + \frac{1}{2}(35.97 - 16.27)(6.1) + \frac{1}{2}(35.97)(1.39)$$

$$24.18 + 99.25 + 60.01 + 25.0 =$$

$$\mathbf{P = 209.07 \text{ kn/m.}}$$

$$\check{Z} = \Sigma ME/P$$

$$\check{Z} = [(24.18)(1.39 + 6.1 + 3.05(\frac{1}{3})) + (99.25)(1.39 + (6)(\frac{1}{2})) + (60.01)(1.39 + 6(\frac{1}{3})) + (25.0)((2)(1.39)(\frac{1}{3}))] / (209.07)$$

$$\check{Z} = \mathbf{4.21 \text{ m.}}$$

$$L_4 = \frac{L_4^3 + 1.5L_4^2 (L_2 + L_2 + L_3) - 3P [(L_1 + L_2 + L_3) - (\check{Z} + l_1)]}{\gamma' (K_p - K_a)} = 0$$

$$\frac{L_4^3 + 1.5L_4^2 (1.52 + 6.1 + 1.39) - (3)(209.07) [(3.05 + 6.1 + 1.39) - (4.21 + 1.53)]}{(9.69)(2.667)}$$

$$\mathbf{L_4 = 2.7 \text{ m.}}$$

$$D_{teórica} = L_3 + L_4 = 1.39 + 2.7 = \mathbf{4.09 \text{ tiende a } 4.1 \text{ m.}}$$

$$D_{real} = 1.3D_{teórica} = (1.3)(4.1) = \mathbf{5.33 \text{ m.}}$$

Parte b

$$F = P - \frac{1}{2} \gamma' (K_p - K_a) L^2 = 209.07 - \frac{1}{2} (9.69) (2.667) (2.7)^2 = \mathbf{114.87 \text{ kn/m tiende a 115}}$$

kN/m.

La figura 5.8 muestra la solución del caso 4 resuelto en el programa G.A.L.A.:

TABLESTACADO ANCLADO EN SUELO ARENOSO Y CON PRESENCIA DE NIVEL FREATICO

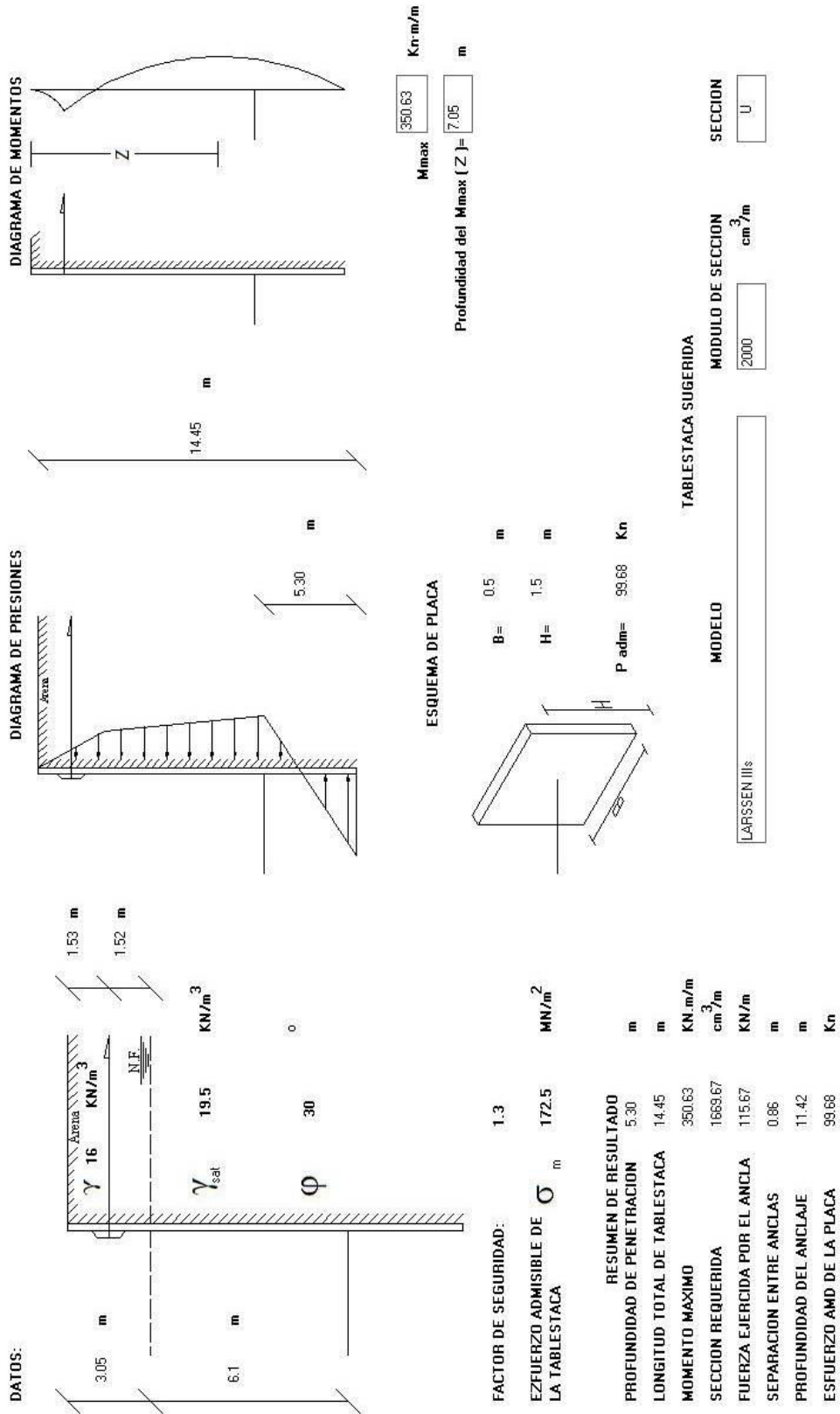


Figura 5.8 Impresión de resultados del programa G.A.L.A.

5.5 Caso 5. Tablestacado anclado en suelo arcilloso en presencia de nivel freático⁵

De la figura siguiente resolver:

- Determine la profundidad teórica de empotramiento.
- Calcule la fuerza en el ancla por unidad de longitud de muro tablestaca.

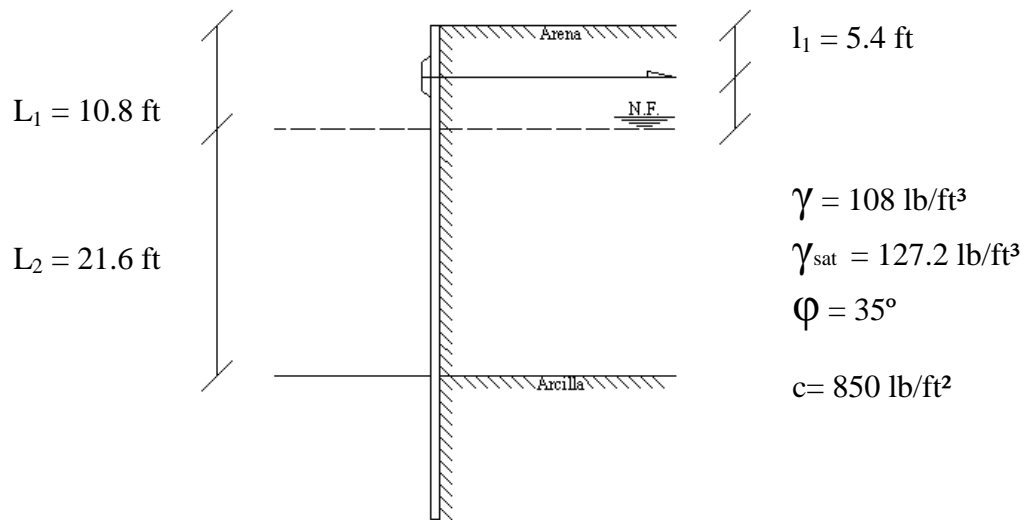


Figura 5.9

Solución:

Parte a

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2) = \tan^2 (45 - 32/2) = \mathbf{0.271}$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 127.2 - 62.4 = \mathbf{64.8 \text{ lb/ft}^3}.$$

$$p_1 = \gamma L_1 K_a = (0.108) (10.8) (0.271) = \mathbf{0.316 \text{ klb/ft}^2}.$$

$$p_2 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_a = [(0.108) (10.8) + (0.0648) (21.6)] (0.271) = \mathbf{0.695 \text{ klb/ft}^2}.$$

$$P_1 = \frac{1}{2} p_1 L_1 + p_1 L_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) L_2$$

⁵ Braja M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, cuarta edición, Editorial Thomson, 2001 pág. 492

$$P_1 = \frac{1}{2} (0.316) (10.8) + (0.316) (21.6) + \frac{1}{2} (0.695 - 0.316) (21.6) = 1.706 + 6.826 + 4.093$$

$$P_1 = \mathbf{12.625 \text{ klb/ft.}}$$

$$\check{Z}_1 = \frac{\Sigma \text{ME respecto a la línea del dragado}}{P_1} =$$

$$\check{Z}_1 = \frac{(1.706) (21.6 + \frac{1}{3} 10.8) + (6.826) (10.8) + (4.093) (\frac{1}{3} (21.6))}{12.625} = \mathbf{11.58 \text{ ft.}}$$

$$P_6 = 4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) = (4) (0.850) - [(0.108) (10.8) + (0.0648) (21.6)]$$

$$P_6 = \mathbf{0.834 \text{ klb/ft}^2}$$

$$D = p_6 D^2 + 2p_6 D (L_1 + L_2 - l_1) - 2P_1 (L_1 + L_2 - l_1 - \check{z}_1) = 0$$

$$D = 0.834 D^2 + (2) (0.834) (D) (27) - (2) (12.625) (15.42) = 0$$

$$D^2 + 54D - 466.85 = 0;$$

$$\mathbf{D = 7.6 \text{ ft}}$$

Parte b

$$F = P_1 - p_6 D = 12.625 - (0.834) (7.6) = \mathbf{6.29 \text{ Klb/ft.}}$$

En la figura 5.10 se muestra la solución del caso 5 resuelto en el programa GA.L.A.:

TABLESTACADO ANCLADO EN SUELO ARCILLOSO Y CON PRESENCIA DE NIVEL FREATICO

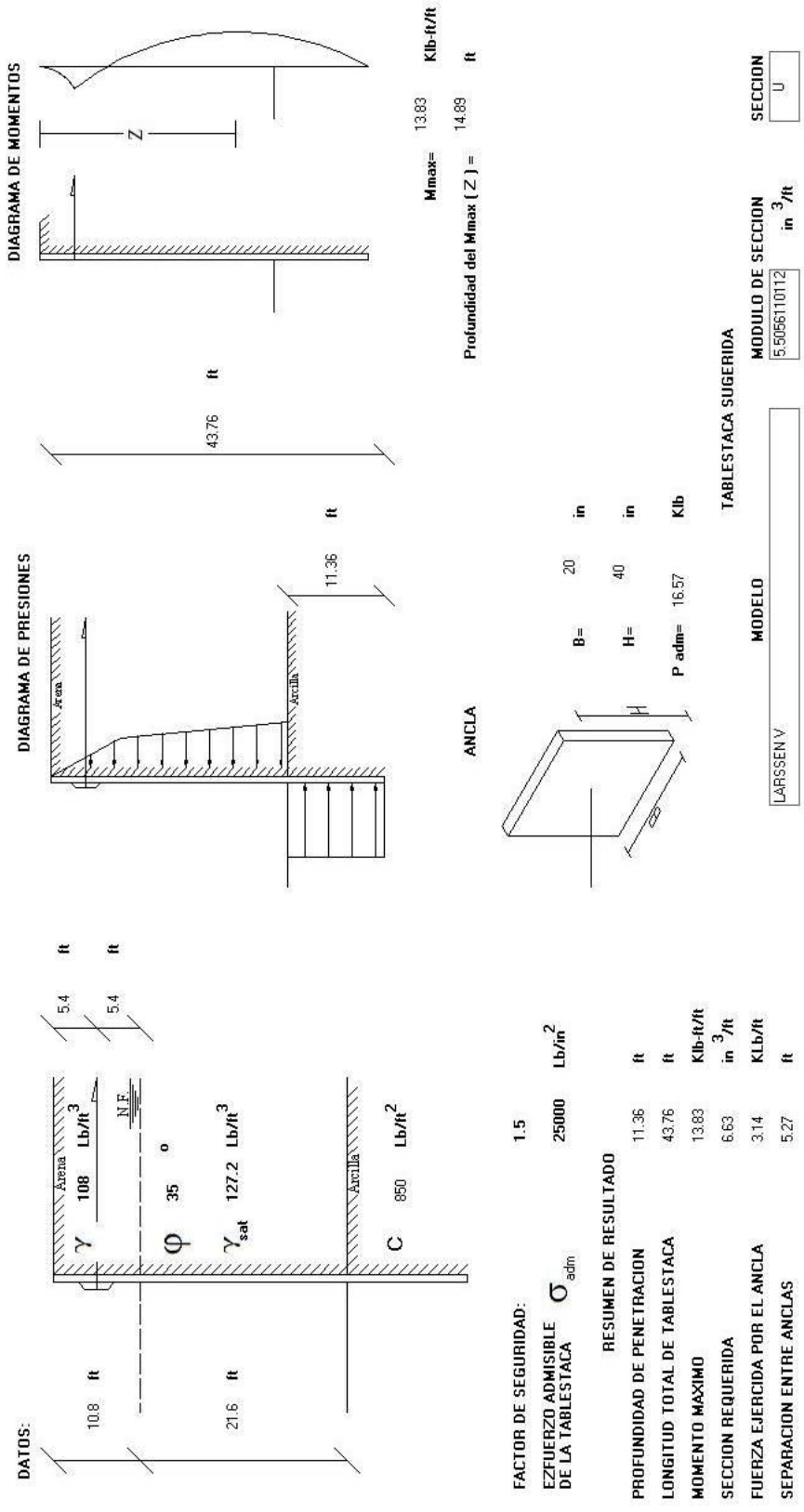


Figura 5.10 Impresión de resultados del programa GA.L.A.

5.6 Caso 6. Entibación en suelo arenoso con cuatro codales⁶

Resolver el siguiente caso de entibación en un suelo arenoso:

$L = 27\text{ft}$

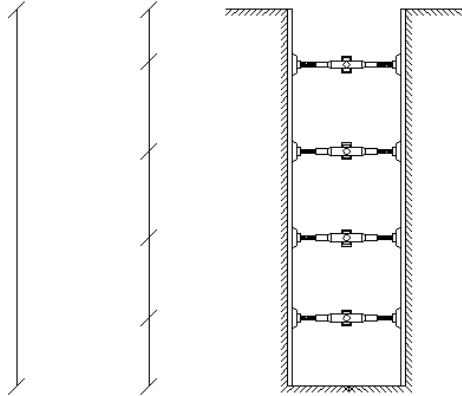
$L_1 = 3\text{ft}$

$L_2 = 6\text{ft}$

$L_3 = 6\text{ft}$

$L_4 = 6\text{ft}$

$L_5 = 6\text{ft}$



SECCIÓN

Arena

$$\gamma = 105 \text{ lb/ft}^3$$

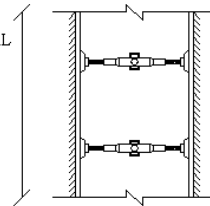
$$\phi = 35^\circ$$

$$c = 0$$

$$\sigma_{adm} = 25000 \text{ lb/in}^2$$

SEPARACIÓN HORIZONTAL
ENTRE PUNTALES

$S = 8\text{ft}$



PLANTA

Figura 5.11

Solución:

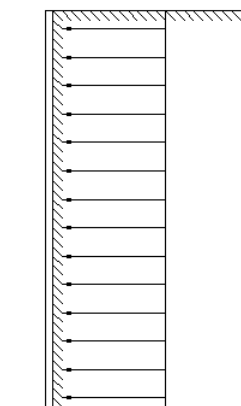


Figura 5.12 Diagrama de

Diagrama de presiones de un suelo arenoso propuesto por Peck.

$$P_a = 0.65 \gamma H \tan^2 (45 - \phi/2) =$$

$$P_a = 0.65 (105) (27) \tan^2 (45 - 35/2) = \mathbf{499.37 \text{ lb/ft}^2}.$$

⁶Braja M. Das, Principles of Geotechnical Engineering, third edition, Editorial ITP, 1994 pag.462

presiones en arena

Determinación de las fuerzas ejercidas en los puntales por medio de momentos respecto al punto B y C.

Para A

$$6A = 499.37 (9) (9/2) = \mathbf{3370.75 \text{ lb/ft.}}$$

Para B₁

$$B_1 = 499.37 (9) - 3370.75 = \mathbf{1123.58 \text{ lb/ft.}}$$

Para C

$$6C_1 = 499.37 (6) (6/2) = \mathbf{1498.11 \text{ lb/ft.}}$$

Para B₂

$$B_2 = 499.37 (6) - 1498.11 = \mathbf{1498.11 \text{ lb/ft.}}$$

Para B

$$B = B_1 + B_2 = 1123.58 + 1498.11 = \mathbf{2621.69 \text{ lb/ft}}$$

Para D

$$6D = 499.37 (12) (12/2) = \mathbf{5992.44 \text{ lb/ft}}$$

Para C₂

$$C_2 = 499.37 (12) - 5992.44 = 0$$

Para C

$$C_1 + C_2 = C$$

$$1498.11 + 0 = \mathbf{1498.11 \text{ lb/ft.}}$$

Las cargas en los puntales en los niveles A, B, C y D.

$$P_a = A (S) = 3370.75 (8) = \mathbf{26,965 \text{ lb.}}$$

$$P_b = B (S) = 2621.69 (8) = \mathbf{20,973 \text{ lb.}}$$

$$P_c = C (S) = 1498.11 (8) = \mathbf{11,985 \text{ lb.}}$$

$$P_d = D (S) = 5992.44 (8) = \mathbf{47,939 \text{ lb.}}$$

Calculo de Largueros

En A:

$$M_{\max} = \frac{(A)}{8} (S^2) = \frac{(3370.75)}{8} (8^2) = \mathbf{26966 \text{ lb-ft.}}$$

Sección requerida en la posición A

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{26966 (12)}{25000} = \mathbf{12.94 \text{ in}^3/\text{ft.}}$$

En B:

$$M_{\max} = \frac{(A)}{8} (S^2) = \frac{(2621.69)}{8} (8^2) = \mathbf{20973.5 \text{ lb-ft.}}$$

Sección requerida en la posición B

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{20973.5 (12)}{25000} = \mathbf{10.48 \text{ in}^3/\text{ft.}}$$

En C:

$$M_{\max} = \frac{(A)}{8} (S^2) = \frac{(1498.11)}{8} (8^2) = \mathbf{11984.9 \text{ lb-ft.}}$$

Sección requerida en la posición C

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{11984.9 (12)}{25000} = \mathbf{5.99 \text{ in}^3/\text{ft.}}$$

En D:

$$M_{\max} = \left(\frac{A}{8} \right) \left(\frac{S^2}{8} \right) = (5992.44) (8^2) = \mathbf{47939.5 \text{ lb-ft.}}$$

Sección requerida en la posición C

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{47939.5}{25000} (12) = \mathbf{23.01 \text{ in}^3/\text{ft.}}$$

Calculo de la tablestaca:

Calculo de momentos que intervienen:

$$0 \leq x \leq 3 \quad M = \frac{1}{2} (-499.37 x^2)$$

$$\text{En } x = 0 \quad M = 0$$

$$\text{En } x = 3 \quad M = \mathbf{-2247.16 \text{ lb-ft.}}$$

$$3 \leq x \leq 9 \quad M = \frac{1}{2} (-499.37 x^2) + 3370.75 (x - 3)$$

$$\text{En } x = 9 \quad M = \mathbf{0 \text{ lb-ft.}}$$

$$\text{Momento máximo} \quad \frac{\partial y}{\partial x} \frac{1}{2} (-499.37 x^2) + 3370.75 (x - 3)$$

$$\text{entre el puntal} \quad -499.37 x + 3370.75 = 0 \quad x = \mathbf{6.75 \text{ ft}}$$

A y B

$$\text{En } x = 6.75 \quad M = \mathbf{1264.03 \text{ lb-ft.}}$$

$$9 \leq x \leq 15 \quad \frac{1}{2} (-499.37 x^2) + 3370.75 (x - 3) + 2621.69 (x - 9)$$

$$\text{En } x = 15 \quad M = \mathbf{0 \text{ lb-ft.}}$$

$$\text{Momento máximo} \quad \frac{\partial y}{\partial x} \frac{1}{2} (-499.37 x^2) + 3370.75 (x - 3) + 2621.69 (x - 9)$$

entre el puntal $-499.37 x + 3370.75 + 2621.69 = 0$ $x = 12 \text{ ft}$

B y C

En $x = 12$ $M = 2247.16 \text{ lb-ft.}$

$15 \leq x \leq 21$ $\frac{1}{2}(-499.37 x^2) + 3370.75 (x - 3) + 2621.69 (x - 9) + 1498.11 (x - 15)$

En $x = 21$ $M = -8889.64 \text{ lb-ft.}$

$21 \leq x \leq 27$ $M = \frac{1}{2}(-499.37 x^2) + 3370.75 (x - 3) + 2621.69 (x - 9) + 1498.11 (x -$

En $x = 21$ $15) + 5992.44 (x - 21)$

$M = 0 \text{ lb-ft.}$

$M_{\max} = 8889.64 \text{ lb-ft.}$

Sección requerida en la tablestaca

$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{8889.64 (12)}{25000} = 4.31 \text{ in}^3/\text{ft.}$

$\sigma_{\text{adm}} \quad 25000$

Diagrama de momentos:

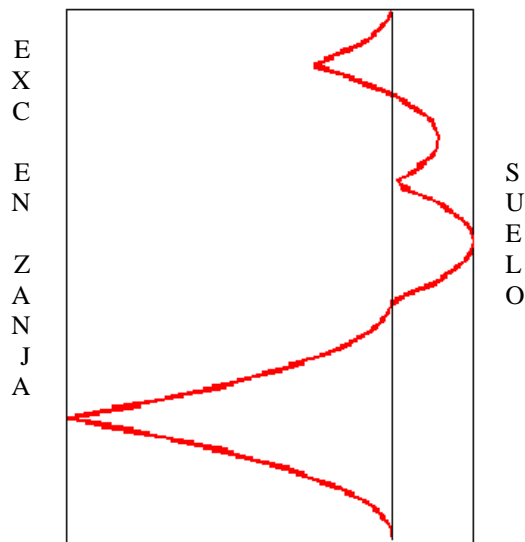


Figura 5.13 Diagrama de Momentos Caso 6

La figura 5.14 muestra la solución de caso 6 resuelto en el programa G.A.L.A.:

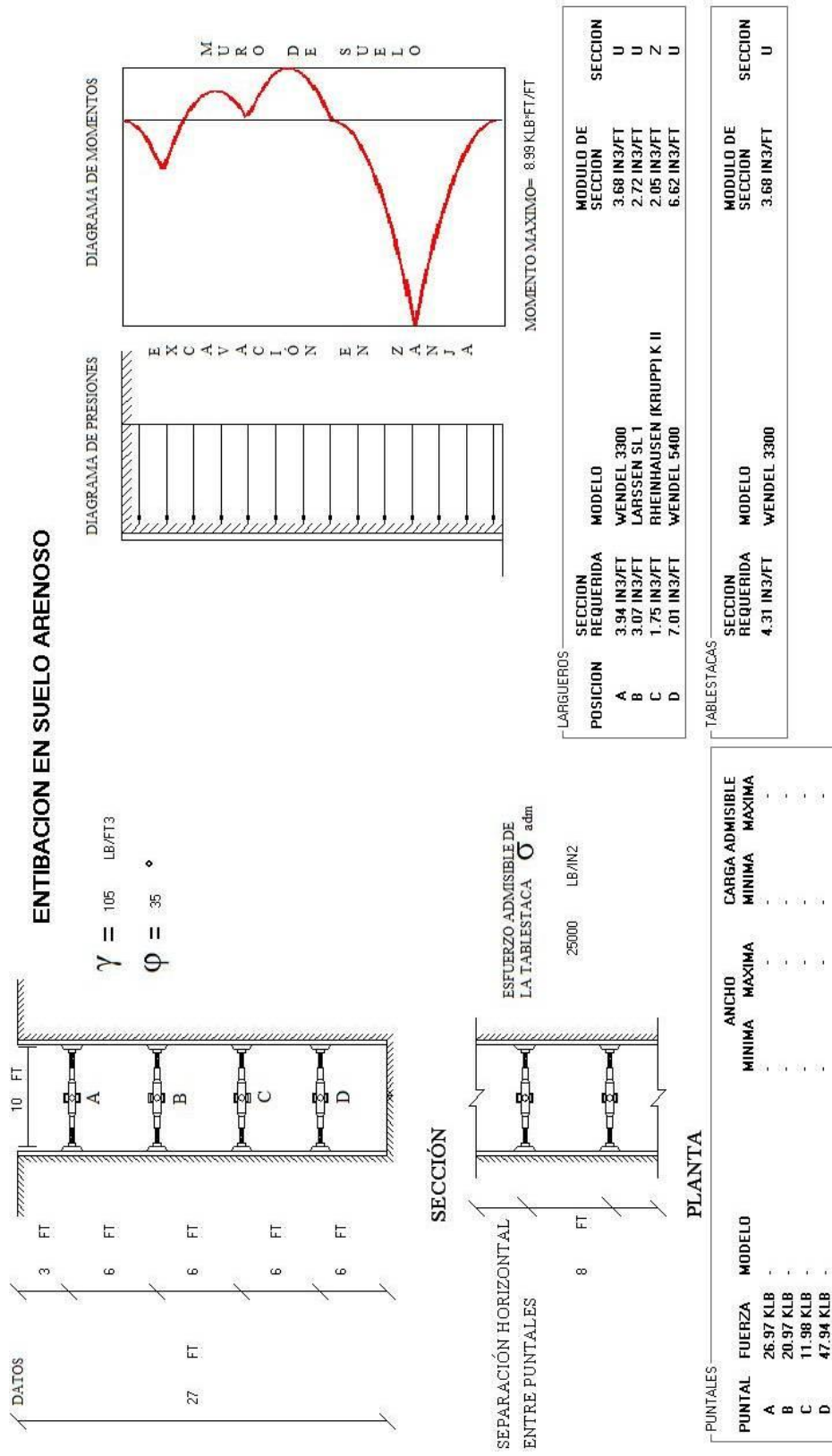
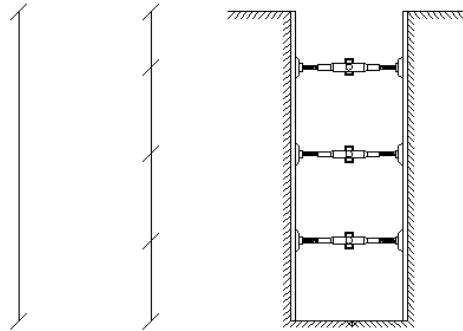


Figura 5.14 Impresión de resultados del programa GA.L.A.

5.7 Caso 7. Entibación en suelo arenoso con tres codales⁷

Resolver el siguiente caso de entibación en un suelo arenoso:

$L = 7 \text{ m}$
 $L_1 = 1 \text{ m}$
 $L_2 = 2 \text{ m}$
 $L_3 = 2 \text{ m}$
 $L_4 = 2 \text{ m}$



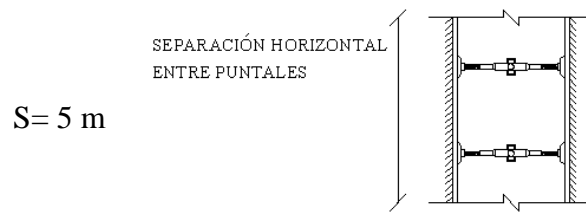
Arena

$$\gamma = 16 \text{ kn/m}^3$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$c = 0$$

SECCIÓN



$S = 5 \text{ m}$

PLANTA

Figura 5.15

Solución:

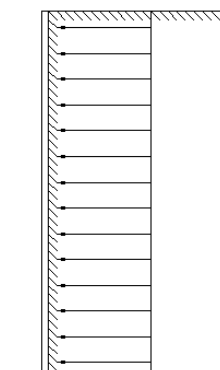


Figura 5.16 Diagrama de presiones en arena

Diagrama de presiones de un suelo arenoso propuesto por Peck.

$$P_a = 0.65 \gamma H \tan^2 (45 - \phi/2) =$$

$$0.65 (16) (7) \tan^2 (45 - 30/2) = \mathbf{24.27 \text{ kn/m}^2}.$$

⁷ Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, primera edición, Editorial Thomson, 2001, pág. 479

Determinación de las fuerzas ejercidas en los puntales por medio de momentos respecto al punto B.

Para A

$$2A = (24.27)(311.5) = \mathbf{54.61 \text{ kN/m.}}$$

Para B₁

$$B_1 = 24.27(3) - 54.61 = \mathbf{18.20 \text{ kN/m.}}$$

Para C

$$2C = 24.27(4)(2) = \mathbf{97.08 \text{ kN/m.}}$$

Para B₂

$$B_2 = 24.27(4) - 97.08 = \mathbf{0 \text{ kN/m.}}$$

$$B = B_1 + B_2 = \mathbf{18.20 \text{ kN/m.}}$$

Las cargas en los puntales en los niveles A, B, C y D.

$$P_a = A(5) = 54.60(5) = \mathbf{273.00 \text{ kN.}}$$

$$P_b = B(5) = 18.20(5) = \mathbf{91.00 \text{ kN.}}$$

$$P_c = C(5) = 97.08(5) = \mathbf{485.40 \text{ Kn.}}$$

Calculo de Largueros

En A:

$$M_{\max} = \frac{(A)(S^2)}{8} = \frac{(54.60)(5^2)}{8} = \mathbf{170.63 \text{ kn-m.}}$$

Sección requerida en la posición A

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{170.63(1000)}{172.5} = \mathbf{989.13 \text{ cm}^3/\text{m.}}$$

En B:

$$M_{\max} = \frac{(A)}{8} \left(\frac{S^2}{8} \right) = \frac{(18.20)}{8} \left(\frac{5^2}{8} \right) = \mathbf{56.86 \text{ kn-m.}}$$

Sección requerida en la posición B

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{56.86 (1000)}{172.5} = \mathbf{329.71 \text{ cm}^3/\text{m.}}$$

En C:

$$M_{\max} = \frac{(A)}{8} \left(\frac{S^2}{8} \right) = \frac{(97.08)}{8} \left(\frac{5^2}{8} \right) = \mathbf{303.34 \text{ kn-m.}}$$

Sección requerida en la posición C

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{303.34 (1000)}{172.5} = \mathbf{1758.70 \text{ cm}^3/\text{m.}}$$

Calculo de la tablestaca:

Calculo de momentos que intervienen:

$$0 \leq x \leq 1 \quad M = \frac{1}{2} (-24.27 x^2)$$

$$\text{En } x = 0 \quad M = 0$$

$$\text{En } x = 1 \quad M = \mathbf{-12.13 \text{ kn-m.}}$$

$$1 \leq x \leq 3 \quad M = \frac{1}{2} (-24.27 x^2) + 54.60 (x - 1)$$

$$\text{En } x = 3 \quad M = \mathbf{0 \text{ kn-m.}}$$

$$\text{Momento máximo } \frac{\partial y}{\partial x} \frac{1}{2} (-24.27 x^2) + 54.60 (x - 1)$$

entre el puntal

A y B $-24.27 x + 54.60 = 0$ $x = 2.25 \text{ m.}$

En $x = 2.25$ $M = 6.83 \text{ kn-m.}$

$3 \leq x \leq 5$ $\frac{1}{2} (-24.27 x^2) + 54.60 (x - 1) + 18.20 (x - 3)$

En $x = 5$ $M = -48.53 \text{ kn-m.}$

$5 \leq x \leq 7$ $\frac{1}{2} (-24.27 x^2) + 54.60 (x - 1) + 18.20 (x - 3) + 97.08 (x - 5)$

En $x = 7$ $M = 0 \text{ lb-ft.}$

$M_{\max} = 48.53 \text{ kn-m.}$

Sección requerida en la tablestaca:

$S_x = M_{\max} = 48.53 (1000) = 281.33 \text{ cm}^3/\text{m.}$

$\frac{\sigma_{\text{adm}}}{172.5}$

Diagrama de momentos:

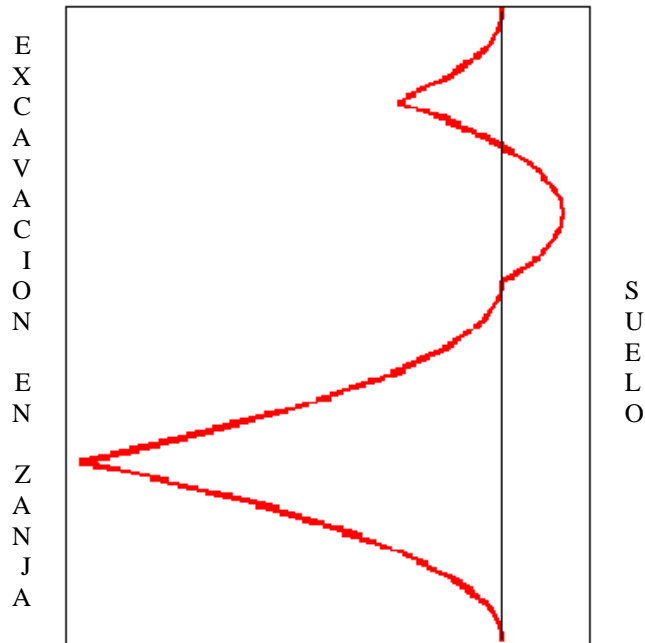


Figura 5.17 Diagrama de Momentos Caso 7

La figura 5.18 muestra la solución de caso 7 resuelto en el programa G.A.L.A.:

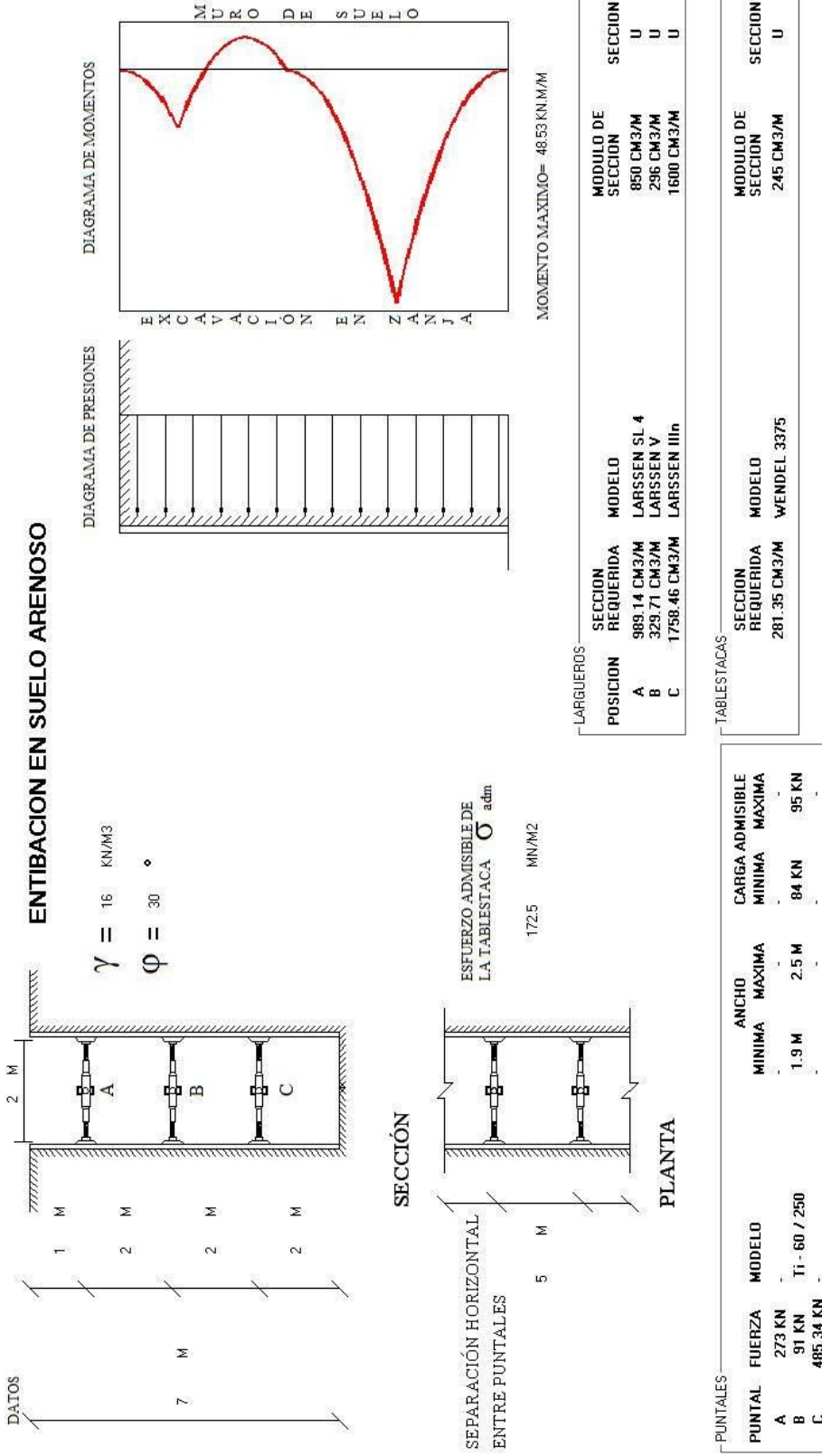
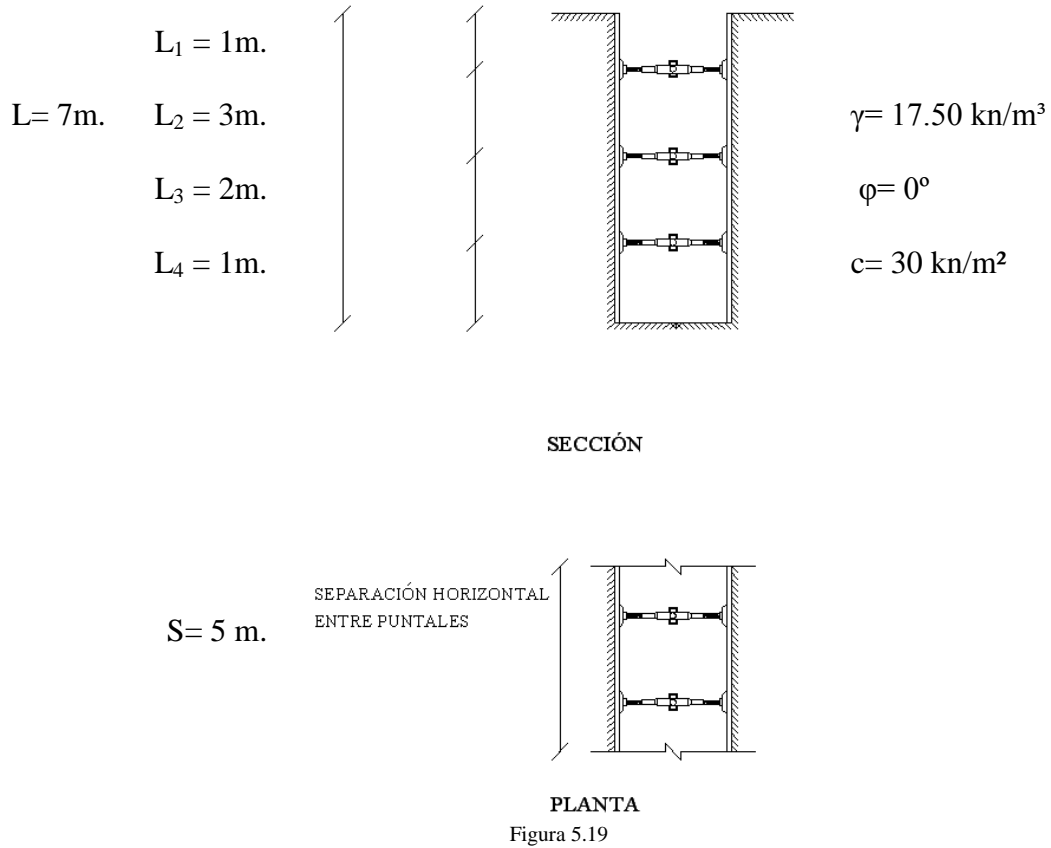


Figura 5.18 Impresión de resultados del programa GA.L.A.

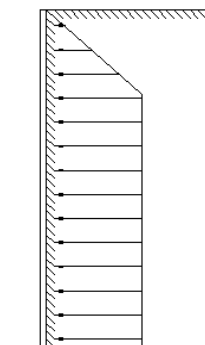
5.8 Caso 8. Entibación en arcilla suave o blanda con 3 codales⁸

Resolver el siguiente caso de entibación en suelo arcilloso:



Solución:

Diagrama de peck



$$\frac{\gamma H}{c} = \frac{(17.50)(7)}{30} = 4.08$$

$$P_a = \frac{\gamma H}{17.50(7)} (1 - 4(30)) = (17.50)(7) (1 - 4(30)) = \mathbf{2.50\text{ kn/m}^2}.$$

$$\frac{\gamma H}{17.50(7)}$$

$$P_a = 0.3 \gamma H = (0.30)(17.50)(7) = \mathbf{36.75\text{ kn/m}^2}.$$

Figura 5.20 Diagrama de presiones de una arcilla suave o blanda

⁸ Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, primera edición, Editorial Thomson, 2001, pág. 492

Determinación de las fuerzas ejercidas en los puntales por medio de momentos respecto al punto B.

Para A

$$3A = (36.75)(2.25)(1.125) + (2.83)(32.16) = \mathbf{61.38 \text{ kn/m.}}$$

Para B₁

$$B_1 = (36.75)(2.25) - 61.38 + 32.16 = \mathbf{53.47 \text{ kn/m.}}$$

Para C

$$2C = (36.75)(3)(1.5) = \mathbf{82.69 \text{ kn/m.}}$$

Para B₂

$$B_2 = (36.75)(3) - 82.69 = \mathbf{27.56 \text{ kn/m.}}$$

Para B

$$B = B_1 + B_2 = 53.47 + 27.56 = \mathbf{81.03 \text{ kn/m.}}$$

Las cargas en los puntales en los niveles A, B, C y D.

$$P_a = A(5) = 61.38(5) = \mathbf{306.89 \text{ kN.}}$$

$$P_b = B(5) = 81.03(5) = \mathbf{405.14 \text{ kN.}}$$

$$P_c = C(5) = 82.69(5) = \mathbf{413.45 \text{ kN.}}$$

Calculo de Largueros

En A:

$$M_{\max} = \frac{(A)(S^2)}{8} = \frac{(61.38)(5^2)}{8} = \mathbf{191.81 \text{ kn-m.}}$$

Sección requerida en la posición A

$$S_x = M_{\max} = \frac{191.81 (1000)}{\sigma_{\text{adm}} \cdot 172.5} = \mathbf{1111.94 \text{ cm}^3/\text{m}.}$$

En B:

$$M_{\max} = (A) (S^2) = \frac{(81.03)}{8} (5^2) = \mathbf{253.22 \text{ kn-m}.}$$

Sección requerida en la posición B

$$S_x = M_{\max} = \frac{253.22 (1000)}{\sigma_{\text{adm}} \cdot 172.5} = \mathbf{1467.93 \text{ cm}^3/\text{m}.}$$

En C:

$$M_{\max} = (A) (S^2) = \frac{(82.69)}{8} (5^2) = \mathbf{251.41 \text{ kn-m}.}$$

Sección requerida en la posición C

$$S_x = M_{\max} = \frac{258.41 (1000)}{\sigma_{\text{adm}} \cdot 172.5} = \mathbf{1498.01 \text{ cm}^3/\text{m}.}$$

Calculo de la tablestaca:

Calculo de momentos que intervienen:

$$0 \leq x \leq 1 \quad M = \frac{-36.75 x^3}{6 (0.25 (7))}$$

$$\text{En } x = 0 \quad M = 0$$

$$\text{En } x = 1 \quad M = \mathbf{-3.50 \text{ kn-m}.}$$

$$1 \leq x \leq 1.75 \quad M = \frac{-36.75 x^3 + 61.38 (x - 1)}{6 (0.25 (7))}$$

En $x = 1.75$ $M = \mathbf{27.28 \text{ kn-m.}}$

$$1.75 \leq x \leq 4 \quad M = [\frac{1}{2}(-36.75 (1.75))] [x - (\frac{2}{3} (1.75))] - \frac{1}{2} (36.75 (x - 1.75)^2) + 61.38 (x - 1)$$

En $x = 4$ $M = \mathbf{0 \text{ kn-m.}}$

Momento máximo $\frac{\partial y}{\partial x} [\frac{1}{2}(-36.75 (1.75))] [x - (\frac{2}{3} (1.75))] - \frac{1}{2} (36.75 (x - 1.75)^2) +$
entre el puntal $61.38 (x - 1)$

A y B $-36.75 x + 93.53 = 0 \quad x = \mathbf{2.54 \text{ m.}}$

En $x = 2.54$ $M = \mathbf{38.89 \text{ kn-m.}}$

$$4 \leq x \leq 6 \quad M = [\frac{1}{2}(-36.75 (1.75))] [x - (\frac{2}{3} (1.75))] - \frac{1}{2} (36.75 (x - 1.75)^2) + 61.38 (x - 1) + 81.03 (x - 4)$$

En $x = 6$ $M = \mathbf{-18.38 \text{ kn-m.}}$

Momento máximo $\frac{\partial y}{\partial x} [\frac{1}{2}(-36.75 (1.75))] [x - (\frac{2}{3} (1.75))] - \frac{1}{2} (36.75 (x - 1.75)^2) +$
entre el puntal $61.38 (x - 1) + 81.03 (x - 4)$

B y C $-36.75 x + 174.56 = 0 \quad x = \mathbf{4.75 \text{ m.}}$

En $x = 4.75$ $M = \mathbf{10.34 \text{ kn-m.}}$

$$6 \leq x \leq 7 \quad M = [\frac{1}{2}(-36.75 (1.75))] [x - (\frac{2}{3} (1.75))] - \frac{1}{2} (36.75 (x - 1.75)^2) + 61.38 (x - 1) + 81.03 (x - 4) + 53.47 (x - 6)$$

En $x = 7$ $M = \mathbf{0 \text{ kn-m.}}$

$$M_{\max} = 38.53 \text{ kn-m.}$$

Sección requerida en la tablestaca:

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{38.53 (1000)}{172.5} = 223.36 \text{ cm}^3/\text{m.}$$

Diagrama de momentos:

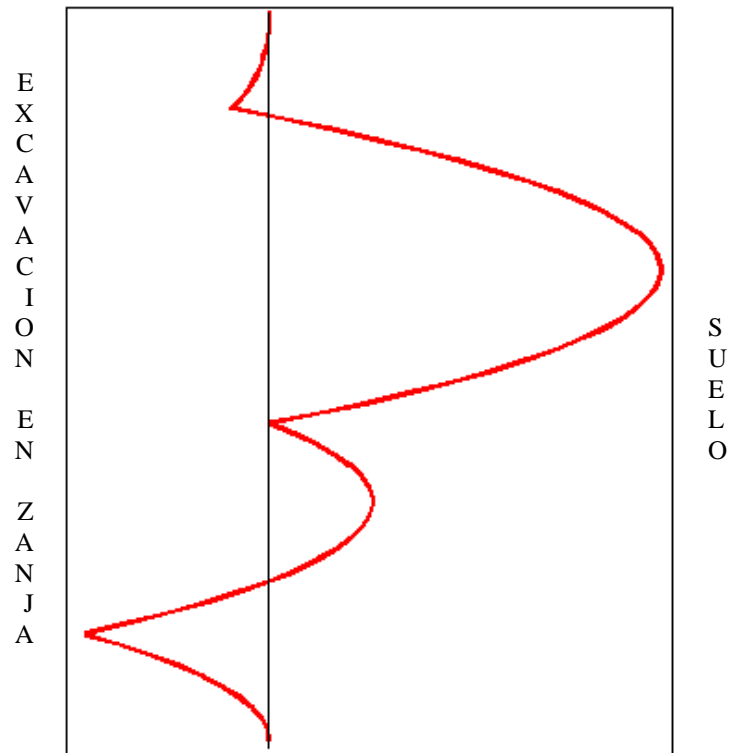


Figura 5.21 Diagrama de Momentos Caso 8

La figura 5.22 muestra la solución del caso 8 resuelto en el programa G.A.L.A.:

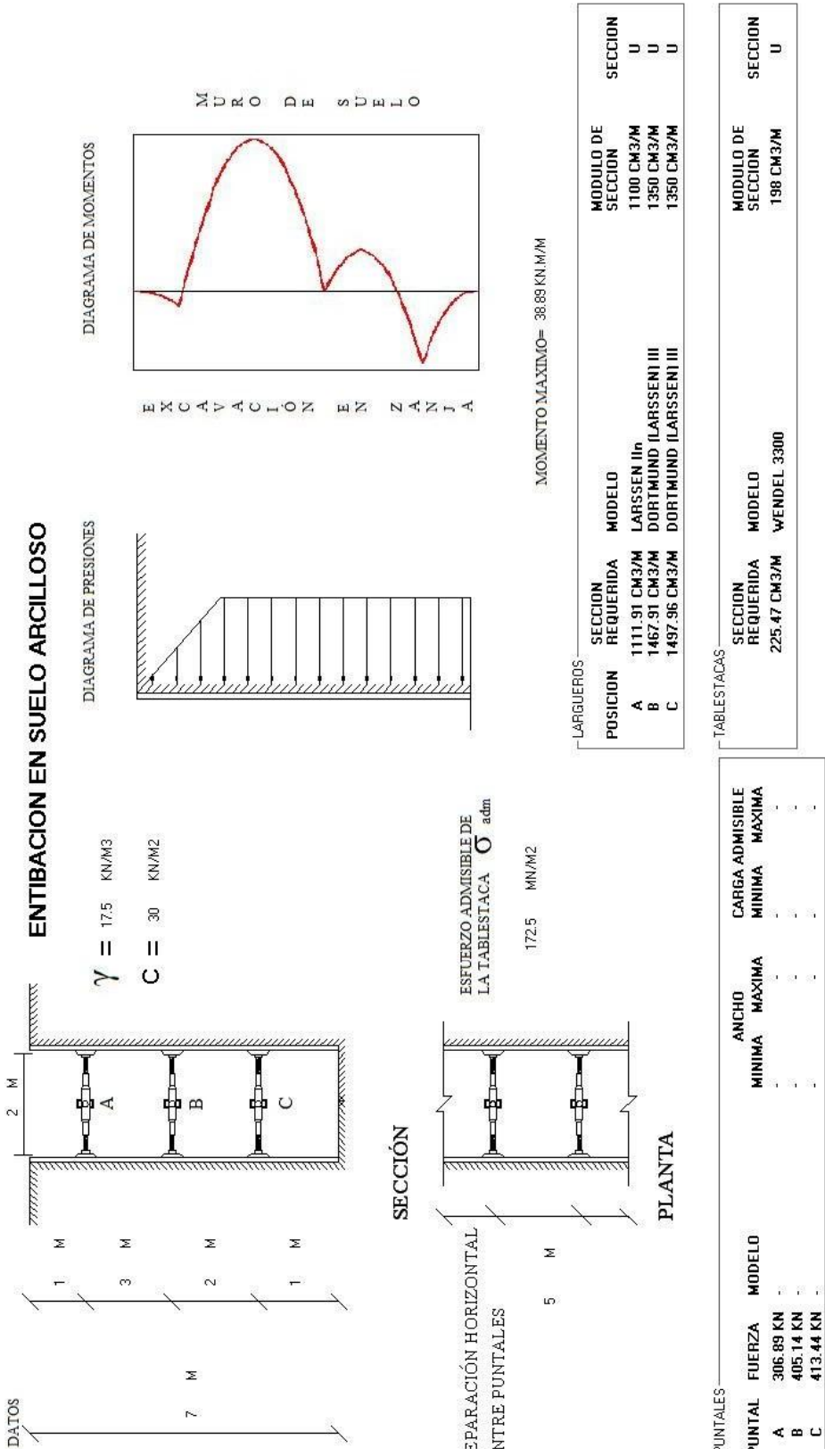
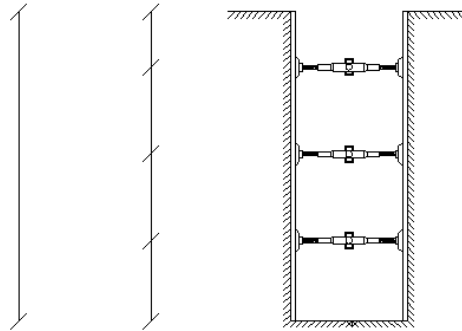


Figura 5.22 Impresión de resultados del programa GA.L.A.

5.9 Caso 9. Entibación en suelo arenoso con tres puntales⁹

Resolver el siguiente caso de entibación en suelo arenoso:

$L = 7\text{ m.}$
 $L_1 = 1\text{ m.}$
 $L_2 = 2\text{ m.}$
 $L_3 = 2\text{ m.}$
 $L_4 = 2\text{ m.}$



Arena

$$\gamma = 16 \text{ kn/m}^3$$

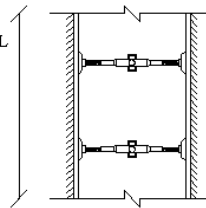
$$\phi = 30^\circ$$

$$c = 0 \text{ kn/m}^2$$

SECCIÓN

$S = 2\text{ m.}$

SEPARACIÓN HORIZONTAL
ENTRE PUNTALES



PLANTA

Figura 5.23

Solución:

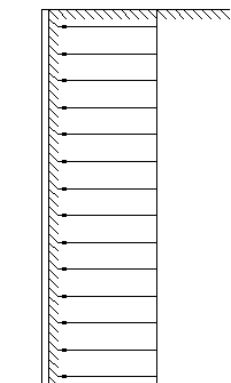


Figura 5.24 Diagrama de presiones en arena

Diagrama de presiones de un suelo arenoso propuesto por

Peck.

$$P_a = 0.65 \gamma H \tan^2 (45 - \phi/2) =$$

$$0.65 (16) (7) \tan^2 (45 - 30/2) = \mathbf{24.27 \text{ kn/m}^2}.$$

⁹ Braja M. Das, Principles of Geotechnical Engineering, third edition, Editorial ITP, 1994, pág. 452

Determinación de las fuerzas ejercidas en los puntales por medio de momentos respecto al punto B.

Para A

$$2A = (24.27)(311.5) = \mathbf{54.61 \text{ kn/m.}}$$

Para B₁

$$B_1 = 24.27(3) - 54.61 = \mathbf{18.20 \text{ kn/m.}}$$

Para C

$$2C = 24.27(4)(2) = 97.08 = \mathbf{97.08 \text{ kn/m.}}$$

Para B₂

$$B_2 = 24.27(4) - 97.08 = \mathbf{0 \text{ kn/m.}}$$

$$B = B_1 + B_2 = \mathbf{18.20 \text{ kn/m.}}$$

Fuerzas en los puntales

$$PA = A(S) = 54.60(2) = \mathbf{109.20 \text{ kn.}}$$

$$PB = B(S) = 18.20(2) = \mathbf{36.40 \text{ kn.}}$$

$$PC = C(S) = 97.08(2) = \mathbf{194.16 \text{ kn.}}$$

Calculo de Largueros

En A:

$$M_{\max} = \frac{(A)(S^2)}{8} = \frac{(54.60)(2^2)}{8} = \mathbf{27.3 \text{ kn-m.}}$$

Sección requerida en la posición A

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{27.30(1000)}{172.5} = \mathbf{158.26 \text{ cm}^3/\text{m.}}$$

En B:

$$M_{\max} = \frac{(A)}{8} \left(\frac{S^2}{8} \right) = \frac{(18.20)}{8} \left(\frac{2^2}{8} \right) = \mathbf{9.10 \text{ kn-m.}}$$

Sección requerida en la posición B

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{9.10 (1000)}{172.5} = \mathbf{52.75 \text{ cm}^3/\text{m.}}$$

En C:

$$M_{\max} = \frac{(A)}{8} \left(\frac{S^2}{8} \right) = \frac{(97.08)}{8} \left(\frac{2^2}{8} \right) = \mathbf{48.54 \text{ kn-m.}}$$

Sección requerida en la posición C

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{48.54 (1000)}{172.5} = \mathbf{281.39 \text{ cm}^3/\text{m.}}$$

Calculo de la tablestaca:

Calculo de momentos que intervienen:

$$0 \leq x \leq 1 \quad M = \frac{1}{2} (-24.27 x^2)$$

$$\text{En } x = 0 \quad M = 0$$

$$\text{En } x = 1 \quad M = \mathbf{-12.13 \text{ kn-m.}}$$

$$1 \leq x \leq 3 \quad M = \frac{1}{2} (-24.27 x^2) + 54.60 (x - 1)$$

$$\text{En } x = 3 \quad M = \mathbf{0 \text{ kn-m.}}$$

$$\text{Momento máximo } \frac{\partial y}{\partial x} \frac{1}{2} (-24.27 x^2) + 54.60 (x - 1)$$

$$\text{entre el puntal} \quad -24.27 x + 54.60 = 0 \quad x = \mathbf{2.25 \text{ m.}}$$

A y B

En $x = 2.25$ $M = 6.83 \text{ kn-m.}$

$3 \leq x \leq 5$ $M = \frac{1}{2} (-24.27 x^2) + 54.60 (x - 1) + 18.20 (x - 3)$

En $x = 5$ $M = -48.53 \text{ kn-m.}$

$5 \leq x \leq 7$ $M = \frac{1}{2} (-24.27 x^2) + 54.60 (x - 1) + 18.20 (x - 3) + 97.08 (x - 5)$

En $x = 7$ $M = 0 \text{ lb-ft.}$

$M_{\max} = 48.53 \text{ kn-m.}$

Sección requerida en la tablestaca:

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{48.53 (1000)}{172.5} = 281.33 \text{ cm}^3/\text{m.}$$

Diagrama de momentos:

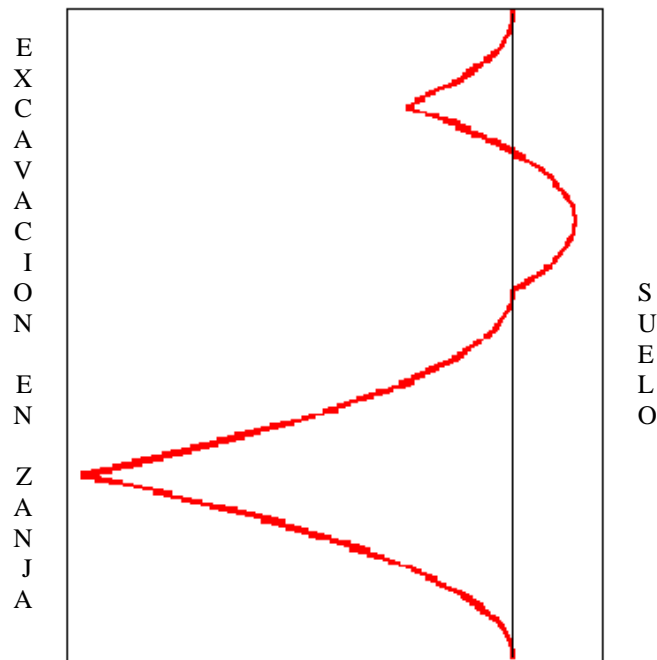


Figura 5.25 Diagrama de Momentos Caso 9

La figura 5.26 muestra la solución del caso 6 resuelto en el programa GA.L.A.:

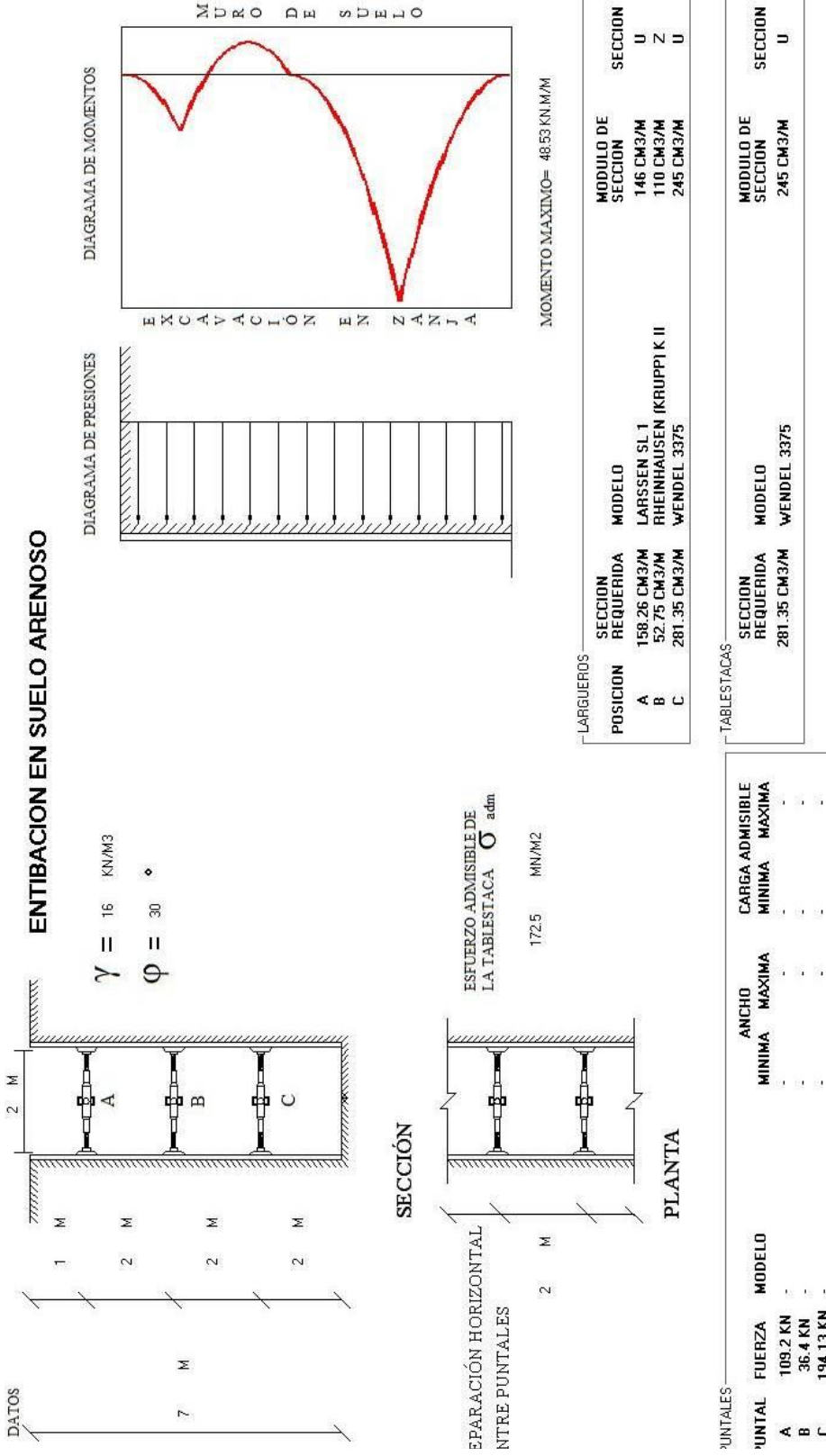
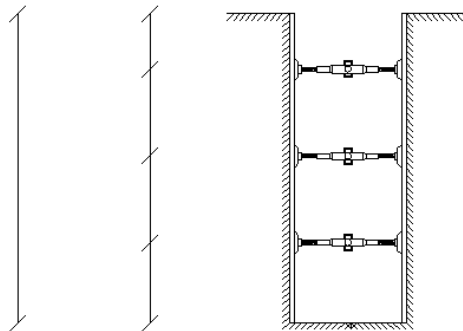


Figura 5.26 Impresión de resultados del programa GA.L.A.

5.10 Caso 10. Entibación en arcilla dura con 3 codales¹⁰

Resolver el siguiente caso de entibación en suelo arcilloso:

$L_1 = 1 \text{ m.}$
 $L = 7 \text{ m.}$ $L_2 = 2.5 \text{ m.}$
 $L_3 = 2.5 \text{ m.}$
 $L_4 = 1 \text{ m.}$



Arena

$$\gamma = 18 \text{ kn/m}^3$$

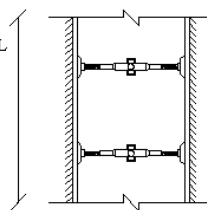
$$\phi = 0^\circ$$

$$c = 35 \text{ kn/m}^2$$

SECCIÓN

$S = 3 \text{ m.}$

SEPARACIÓN HORIZONTAL
ENTRE PUNTALES



PLANTA

Figura 5.27

Solución:

Diagrama de peck

$$\gamma H = (18.00) (7) = 3.60$$

$$\frac{\gamma H}{c} = \frac{3.60}{35}$$

$$P_a = 0.3 \gamma H = (0.30) (18) (7) = \mathbf{37.8 \text{ kn/m}^2}.$$

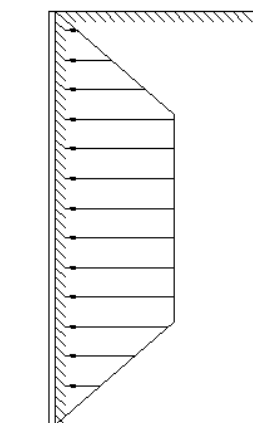


Figura 5.28 Diagrama de presiones de una arcilla dura

¹⁰ Braja M. Das, Principios de Ingeniería de Cimentaciones, cuarta edición, Editorial Thomson, 2001 pág. 531

Determinación de las fuerzas ejercidas en los puntales por medio de momentos respecto al punto B.

Para A

$$3A = (37.8)(1.75)(0.875) + (2.33)(33.08) = \mathbf{54.02 \text{ kn/m.}}$$

Para B₁

$$B_1 = (37.8)(1.75) - 54.02 + 33.08 = \mathbf{45.20 \text{ kn/m.}}$$

Para C

$$2C = (37.8)(1.75)(0.875) + (2.33)(33.08) = \mathbf{54.02 \text{ kn/m.}}$$

Para B₂

$$B_2 = (37.8)(1.75) - (54.02) + (33.08) = \mathbf{45.20 \text{ kn/m.}}$$

Para B

$$B = B_1 + B_2 = 45.20 + 45.20 = \mathbf{90.40 \text{ kn/m.}}$$

Las cargas en los puntales en los niveles A, B, C y D.

$$P_a = A(5) = 54.02(3) = \mathbf{162.07 \text{ kN.}}$$

$$P_b = B(5) = 90.40(3) = \mathbf{271.20 \text{ kN.}}$$

$$P_c = C(5) = 54.02(3) = \mathbf{162.07 \text{ kN.}}$$

Calculo de Largueros

En A:

$$M_{\max} = \frac{(A)(S^2)}{8} = \frac{(54.02)(3^2)}{8} = \mathbf{60.77 \text{ kn-m.}}$$

Sección requerida en la posición A

$$S_x = M_{\max} = \frac{60.77 (1000)}{\sigma_{\text{adm}} 172.5} = \mathbf{352.30 \text{ cm}^3/\text{m}}.$$

En B:

$$M_{\max} = (A) (S^2) = \frac{(90.40)}{8} (3^2) = \mathbf{101.7 \text{ kn-m}}.$$

Sección requerida en la posición B

$$S_x = M_{\max} = \frac{101.7 (1000)}{\sigma_{\text{adm}} 172.5} = \mathbf{589.57 \text{ cm}^3/\text{m}}.$$

En C:

$$M_{\max} = (A) (S^2) = \frac{(54.02)}{8} (3^2) = \mathbf{60.77 \text{ kn-m}}.$$

Sección requerida en la posición A

$$S_x = M_{\max} = \frac{60.77 (1000)}{\sigma_{\text{adm}} 172.5} = \mathbf{352.30 \text{ cm}^3/\text{m}}.$$

Calculo de la tablestaca:

Calculo de momentos que intervienen:

$$0 \leq x \leq 1 \quad M = \frac{-37.8 x^3}{6 (0.25 (7))}$$

$$\text{En } x = 0 \quad M = 0$$

$$\text{En } x = 1 \quad M = \mathbf{-3.60 \text{ kn-m}}.$$

$$1 \leq x \leq 1.75 \quad M = \frac{-37.8 x^3 + 54.02 (x - 1)}{6 (0.25 (7))}$$

En $x = 1.75$ $M = \mathbf{21.22 \text{ kn-m.}}$

$$1.75 \leq x \leq 3.5 \quad M = [\frac{1}{2}(-37.8 (1.75))] [x - (\frac{2}{3} (1.75))] - \frac{1}{2} (37.8 (x - 1.75)^2) + 54.02 (x - 1)$$

En $x = 3.5$ $M = \mathbf{0 \text{ kn-m.}}$

Momento máximo $\frac{\partial y}{\partial x} [\frac{1}{2}(-37.8 (1.75))] [x - (\frac{2}{3} (1.75))] - \frac{1}{2} (37.8 (x - 1.75)^2) + 54.02 (x - 1)$
entre el puntal

A y B $-37.8 x + 87.09 = 0 \quad x = \mathbf{2.30 \text{ m.}}$

En $x = 2.30$ $M = \mathbf{27.03 \text{ kn-m.}}$

$$3.5 \leq x \leq 5.25 \quad M = [\frac{1}{2}(-37.8 (1.75))] [x - (\frac{2}{3} (1.75))] - \frac{1}{2} (37.8 (x - 1.75)^2) + 54.02 (x - 1) + 90.4 (x - 3.5)$$

En $x = 5.25$ $M = \mathbf{21.22 \text{ kn-m.}}$

Momento máximo $\frac{\partial y}{\partial x} [\frac{1}{2}(-37.8 (1.75))] [x - (\frac{2}{3} (1.75))] - \frac{1}{2} (37.8 (x - 1.75)^2) + 54.02 (x - 1) + 90.4 (x - 3.5)$
entre el puntal

B y C $-37.8 x + 177.50 = 0 \quad x = \mathbf{4.69 \text{ m.}}$

En $x = 4.69$ $M = \mathbf{27.03 \text{ kn-m.}}$

$$5.25 \leq x \leq 6 \quad M = [\frac{1}{2}(-37.8 (1.75))] [x - (\frac{2}{3} (1.75))] - (37.8 (3.50) (x - 3.5)) + 54.02 (x - 1) + 90.4 (x - 3.5) + \frac{37.8 x^3}{6 (0.25 (7))} - \frac{1}{2} (37.8 (x - 5.25)^2)$$

En $x = 6$ $M = \mathbf{-3.60 \text{ kn-m.}}$

$$6 \leq x \leq 7 \quad M = [\frac{1}{2}(-37.8 (1.75))] [x - (\frac{2}{3} (1.75))] - (37.8 (3.50) (x - 3.5))$$

$$+ 54.02 (x - 1) + 90.4 (x - 3.5) + 54.02 (x - 6)$$

$$- \frac{1}{2} (37.8 (x - 5.25)^2) + \frac{37.8 x^3}{6 (0.25 (7))}$$

En $x = 7$ $M = 0 \text{ kn-m.}$

$M_{\max} = 27.03 \text{ kn-m.}$

Sección requerida en la tablestaca:

$$S_x = \frac{M_{\max}}{\sigma_{\text{adm}}} = \frac{27.03 (1000)}{172.5} = 156.69 \text{ cm}^3/\text{m.}$$

$$\sigma_{\text{adm}} \quad 172.5$$

Diagrama de momentos:

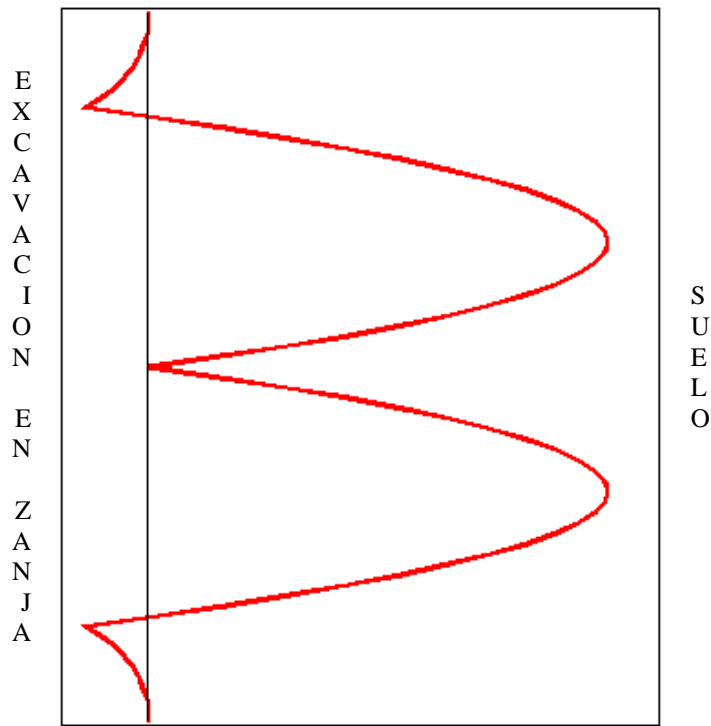


Figura 5.29 Diagrama de Momentos Caso 10

La figura 5.30 muestra la solución del caso 6 resuelto en el programa GA.L.A.:

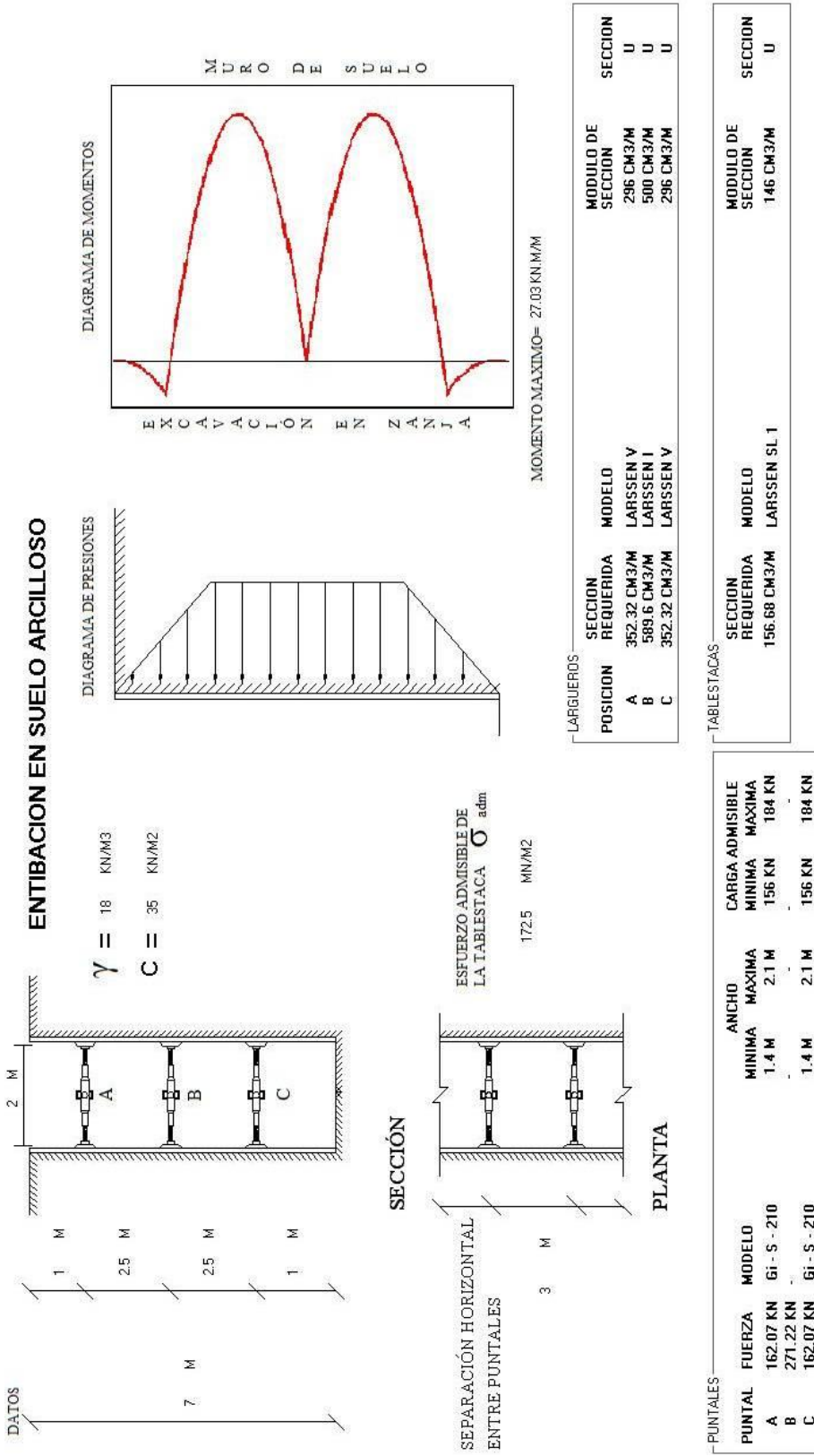


Figura 5.30 Impresión de resultados del programa GA.L.A.

Una vez resueltos los ejercicios manualmente se obtuvo el resultado real y con el paquete interactivo se obtuvo el resultado aproximado estos se comparan para mostrar la bondad del programa GA.L.A.(Ver Tablas 5.1 a 5.10)

Caso 1

LISTA DE RESULTADOS	RESULTADO REAL	RESULTADO APROXIMADO	UNIDAD	ERROR	ERROR RELATIVO
Profundidad de Penetración	7.1	7.03	m	0.07	0.99%
Longitud Total de Tablestaca	12.1	12.03	m	0.07	0.58%
Momento Máximo	209.39	209.57	kN-m/m	-0.18	-0.09%
Sección Requerida	1217.38	1214.94	cm ³ /m	2.44	0.20%

Tabla 5.1 Comparación de resultados de los problemas realizados a mano contra los realizados en GA.L.A.

Caso 2

LISTA DE RESULTADOS	RESULTADO REAL	RESULTADO APROXIMADO	UNIDAD	ERROR	ERROR RELATIVO
Profundidad de Penetración	6.11	5.96	m	0.15	2.46%
Longitud Total de Tablestaca	11.11	10.96	m	0.15	1.35%
Momento Máximo	-----	223.8	kN-m/m	-----	-----
Sección Requerida	-----	1297.42	cm ³ /m	-----	-----

Tabla 5.2 Comparación de resultados de los problemas realizados a mano contra los realizados en GA.L.A.

Caso 3

LISTA DE RESULTADOS	RESULTADO REAL	RESULTADO APROXIMADO	UNIDAD	ERROR	ERROR RELATIVO
Profundidad de Penetración	3.45	3.41	m	0.04	1.16%
Longitud Total de Tablestaca	8.95	8.91	m	0.04	0.45%
Momento Máximo	127.42	127.57	kN-m/m	-0.15	-0.12%
Sección Requerida	740.81	737.59	cm ³ /m	3.22	0.43%

Tabla 5.3 Comparación de resultados de los problemas realizados a mano contra los realizados en GA.L.A.

Caso 4

LISTA DE RESULTADOS	RESULTADO REAL	RESULTADO APROXIMADO	UNIDAD	ERROR	ERROR RELATIVO
Profundidad de Penetración	5.33	5.3	m	0.03	0.56%
Longitud Total de Tablestaca	14.48	14.45	m	0.03	0.21%
Momento Máximo	-----	350.63	kN-m/m	-----	-----
Sección Requerida	-----	1669.67	cm ³ /m	-----	-----
Fuerza Ejercida por el Ancla	114.87	115.67	kN	-0.8	-0.70%
Separación entre Anclas	-----	0.86	m	-----	-----
Profundidad de Anclaje	-----	11.42	m	-----	-----
Esfuerzo Admisible de la Placa	-----	99.68	kN	-----	-----

Tabla 5.4 Comparación de resultados de los problemas realizados a mano contra los realizados en G.A.L.A.

Caso 5

LISTA DE RESULTADOS	RESULTADO REAL	RESULTADO APROXIMADO	UNIDAD	ERROR	ERROR RELATIVO
Profundidad de Penetración	11.4	11.36	ft	0.04	0.35%
Longitud Total de Tablestaca	43.8	43.76	ft	0.04	0.09%
Momento Máximo	-----	13.83	kLb-ft/ft	-----	-----
Sección Requerida	-----	6.63	in ³ /ft	-----	-----
Fuerza Ejercida por el Ancla	6.29	3.14	kLb	3.15	50.08%
Separación entre Anclas	-----	5.27	ft	-----	-----
Profundidad de Anclaje	-----	34.75	ft	-----	-----
Esfuerzo Admisible de la Placa	-----	16.57	kLb	-----	-----

Tabla 5.5 Comparación de resultados de los problemas realizados a mano contra los realizados en G.A.L.A.

Caso 6

LISTA DE RESULTADOS	RESULTADO REAL	RESULTADO APROXIMADO	UNIDAD	ERROR	ERROR RELATIVO
Fuerza en Puntal A	26.96	26.97	kLb	-0.01	-0.04%
Fuerza en Puntal B	20.97	20.97	kLb	0	0.00%
Fuerza en Puntal C	11.98	11.98	kLb	0	0.00%
Fuerza en Puntal D	47.93	47.94	kLb	-0.01	-0.02%
Sección Requerida en Larguero A	12.94	3.94	in ³ /ft	9	69.55%
Sección Requerida en Larguero B	10.48	3.07	in ³ /ft	7.41	70.71%
Sección Requerida en Larguero C	5.99	1.75	in ³ /ft	4.24	70.78%
Sección Requerida en Larguero D	23.01	7.01	in ³ /ft	16	69.54%
Sección Requerida en Tablestaca	4.31	4.31	in ³ /ft	0	0.00%

Tabla 5.6 Comparación de resultados de los problemas realizados a mano contra los realizados en G.A.L.A.

Caso 7

LISTA DE RESULTADOS	RESULTADO REAL	RESULTADO APROXIMADO	UNIDAD	ERROR	ERROR RELATIVO
Fuerza en Puntal A	273	273	kN	0	0.00%
Fuerza en Puntal B	91	91	kN	0	0.00%
Fuerza en Puntal C	485.4	485.34	kN	0.06	0.01%
Sección Requerida en Larguero A	989.13	989.14	cm ³ /m	-0.01	0.00%
Sección Requerida en Larguero B	329.71	329.71	cm ³ /m	0	0.00%
Sección Requerida en Larguero C	1758.7	1758.46	cm ³ /m	0.24	0.01%
Sección Requerida en Tablestaca	281.33	281.35	cm ³ /m	-0.02	-0.01%

Tabla 5.7 Comparación de resultados de los problemas realizados a mano contra los realizados en G.A.L.A.

Caso 8

LISTA DE RESULTADOS	RESULTADO REAL	RESULTADO APROXIMADO	UNIDAD	ERROR	ERROR RELATIVO
Fuerza en Puntal A	306.89	306.89	kN	0	0.00%
Fuerza en Puntal B	405.14	405.14	kN	0	0.00%
Fuerza en Puntal C	413.44	413.44	kN	0	0.00%
Sección Requerida en Larguero A	1111.94	1111.91	cm ³ /m	0.03	0.00%
Sección Requerida en Larguero B	1467.93	1467.91	cm ³ /m	0.02	0.00%
Sección Requerida en Larguero C	1498.01	1497.96	cm ³ /m	0.05	0.00%
Sección Requerida en Tablestaca	223.36	225.47	cm ³ /m	-2.11	-0.94%

Tabla 5.8 Comparación de resultados de los problemas realizados a mano contra los realizados en GA.L.A.

Caso 9

LISTA DE RESULTADOS	RESULTADO REAL	RESULTADO APROXIMADO	UNIDAD	ERROR	ERROR RELATIVO
Fuerza en Puntal A	109.2	109.2	kN	0	0.00%
Fuerza en Puntal B	36.4	36.4	kN	0	0.00%
Fuerza en Puntal C	194.16	194.13	kN	0.03	0.02%
Sección Requerida en Larguero A	158.26	158.56	cm ³ /m	-0.3	-0.19%
Sección Requerida en Larguero B	52.75	52.75	cm ³ /m	0	0.00%
Sección Requerida en Larguero C	281.39	281.35	cm ³ /m	0.04	0.01%
Sección Requerida en Tablestaca	281.33	281.35	cm ³ /m	-0.02	-0.01%

Tabla 5.9 Comparación de resultados de los problemas realizados a mano contra los realizados en GA.L.A.

Caso 10

LISTA DE RESULTADOS	RESULTADO REAL	RESULTADO APROXIMADO	UNIDAD	ERROR	ERROR RELATIVO
Fuerza en Puntal A	162.07	162.07	kN	0	0.00%
Fuerza en Puntal B	271.2	271.22	kN	-0.02	-0.01%
Fuerza en Puntal C	162.07	162.07	kN	0	0.00%
Sección Requerida en Larguero A	352.3	352.32	cm ³ /m	-0.02	-0.01%
Sección Requerida en Larguero B	589.57	589.6	cm ³ /m	-0.03	-0.01%
Sección Requerida en Larguero C	352.3	352.32	cm ³ /m	-0.02	-0.01%
Sección Requerida en Tablestaca	156.69	156.68	cm ³ /m	0.01	0.01%

Tabla 5.10 Comparación de resultados de los problemas realizados a mano contra los realizados en GA.L.A.

Al revisar las comparaciones, en el caso de tablestacado, se obtuvo un porcentaje alto el cual se trata de la fuerza del ancla obtenida en el Caso 5, en el cálculo se encontró que se consideró la $D_{\text{Teórica}}$, en lugar de la D , la cual ya está afectada por el factor de seguridad, demostrando que el error se encuentra en el ejercicio resuelto manualmente.

Los porcentajes de la profundidad de penetración de la tablestaca se consideran, relativamente altos, pero hay que resaltar que su cálculo es por iteraciones y se busca un valor cerca del 0, mientras que el programa trata de resolver el valor lo más cercano a 0, obteniendo así más precisión.

En los casos de Entibación se presenta un error relativo que es un error fatal en el cálculo de los largueros que ocurre en el Caso 6, esto fue inquietante puesto que el porcentaje resulta superior al cincuenta por ciento, esto obligó a revisar cuidadosamente el paquete en lo

referente a la conversión de unidades, en el cual su programación en el Sistema Inglés que se basa en el uso de factores de conversión para resolver en Sistema Métrico y así regresar de nuevo los valores en Sistema Inglés.

Se encontró un error dimensional el cual no se localizó pero se refleja en la sección requerida en los largueros, lo cual también obligo a realizar una revisión minuciosa en todos los algoritmos del programa. Obteniendo así en la totalidad de los casos resueltos en Sistema Inglés y en Sistema Métrico un factor de 0.01860 para la conversión de cm^3/m a in^3/ft . Factor que no se cumple en el cálculo de largueros realizado manualmente. Se encontró que el valor está aumentado por 3.28 veces, lo cual es el mismo valor de conversión de metros a pies, demostrando la confiabilidad y bondad del programa G.A.L.A..

Teniendo confianza en lo anterior se resuelven con el paquete aquellos casos, cuando no propone el elemento estructural que exista en el mercado. En los casos analizados en este estudio de Tablestacado siempre propone el elemento estructural, pero en Entibación no existen codales que cumplan las características que el ejercicio solicita, por lo que es necesario volver a calcular hasta encontrar la propuesta del programa de un codal adecuado simplemente modificando la separación horizontal entre ellos, en el caso de no llegar a solucionarse así el problema, se recomienda modificar las separaciones verticales entre codales respetando el último valor de separación entre la plantilla de la excavación y el último codal.

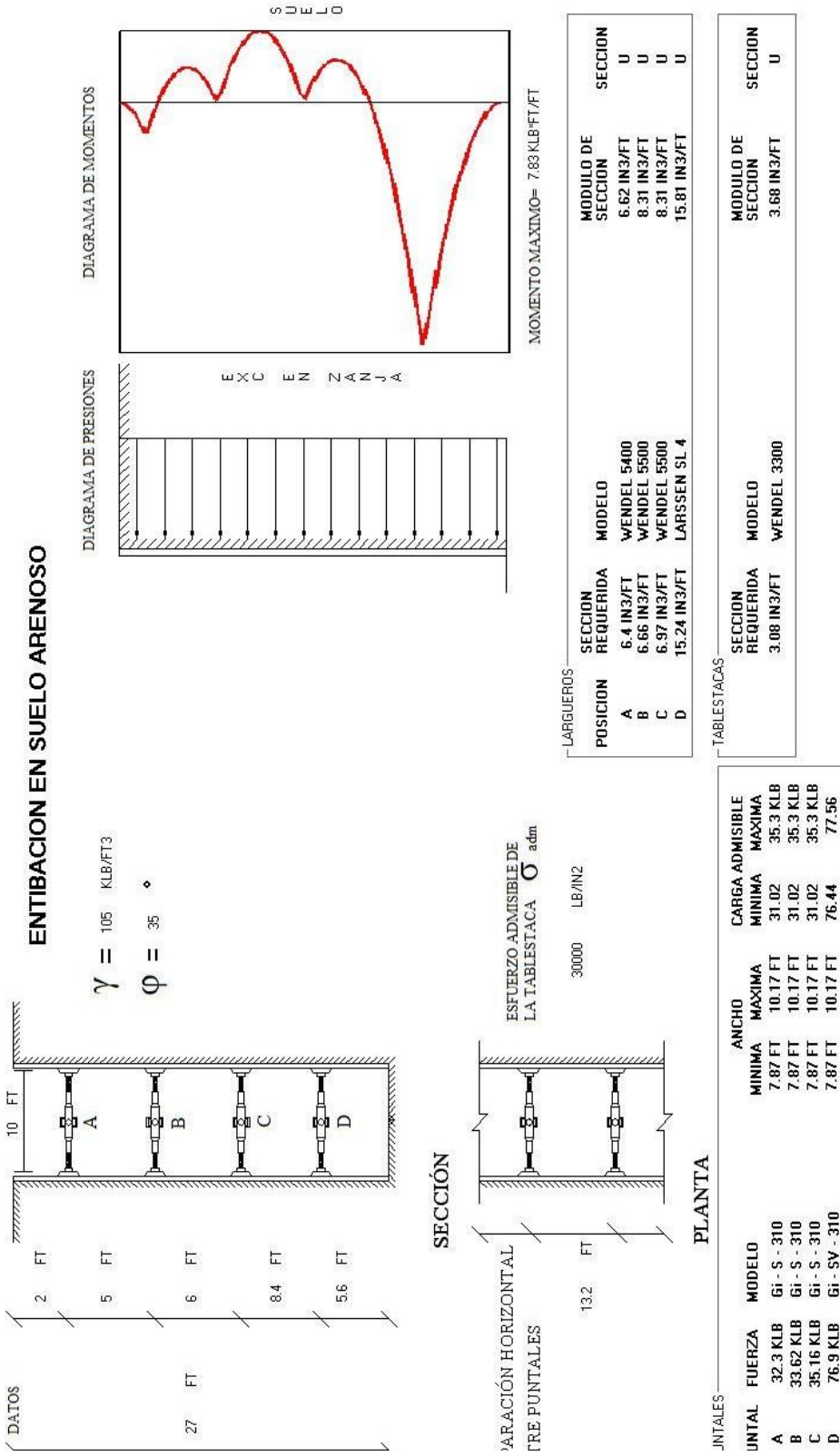


Figura 5.31 Resolución del Caso 6 en el programa GA.L.A.

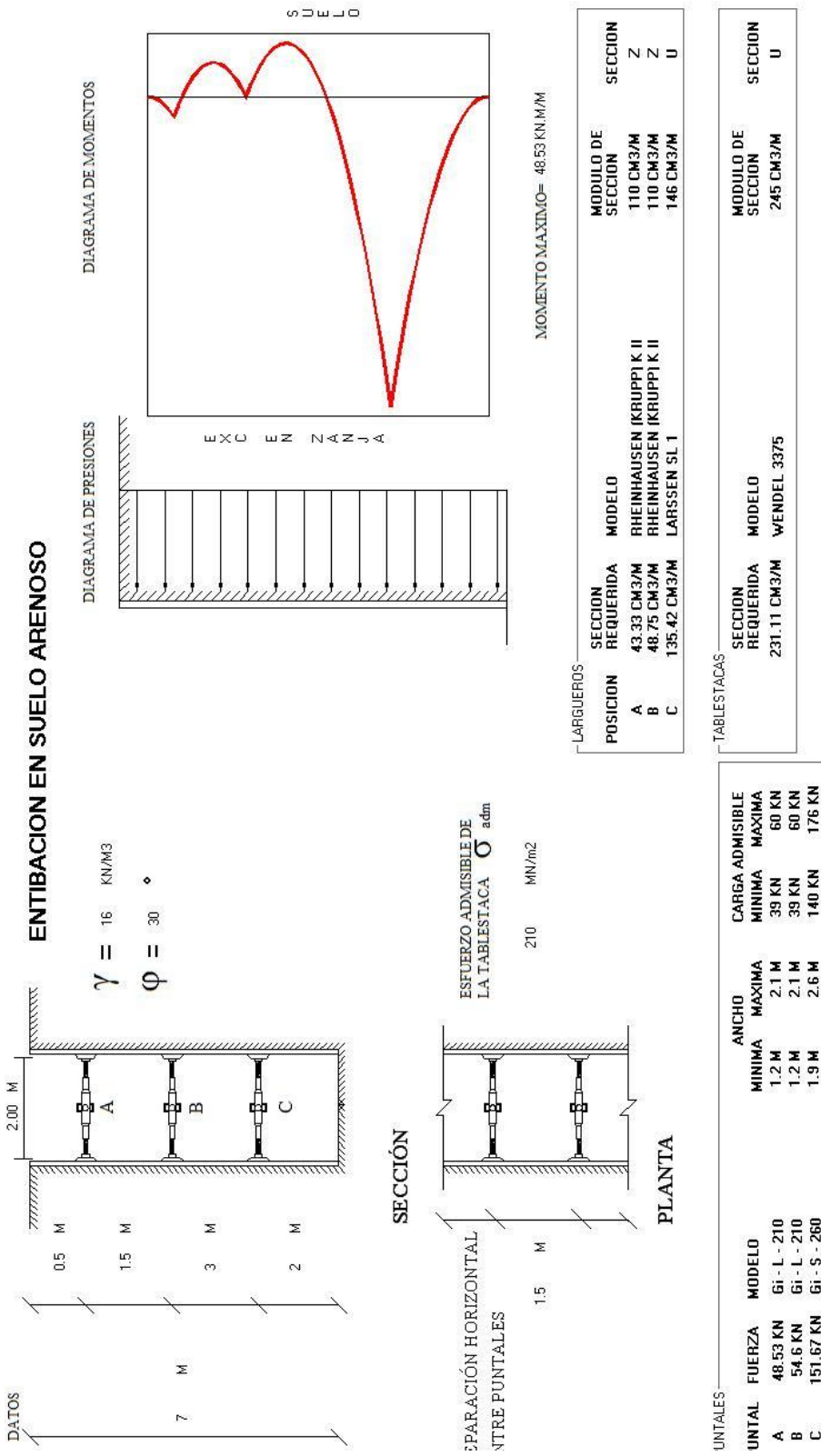


Figura 5.32 Resolución del Caso 7 y Caso 9 en el programa GA.L.A.

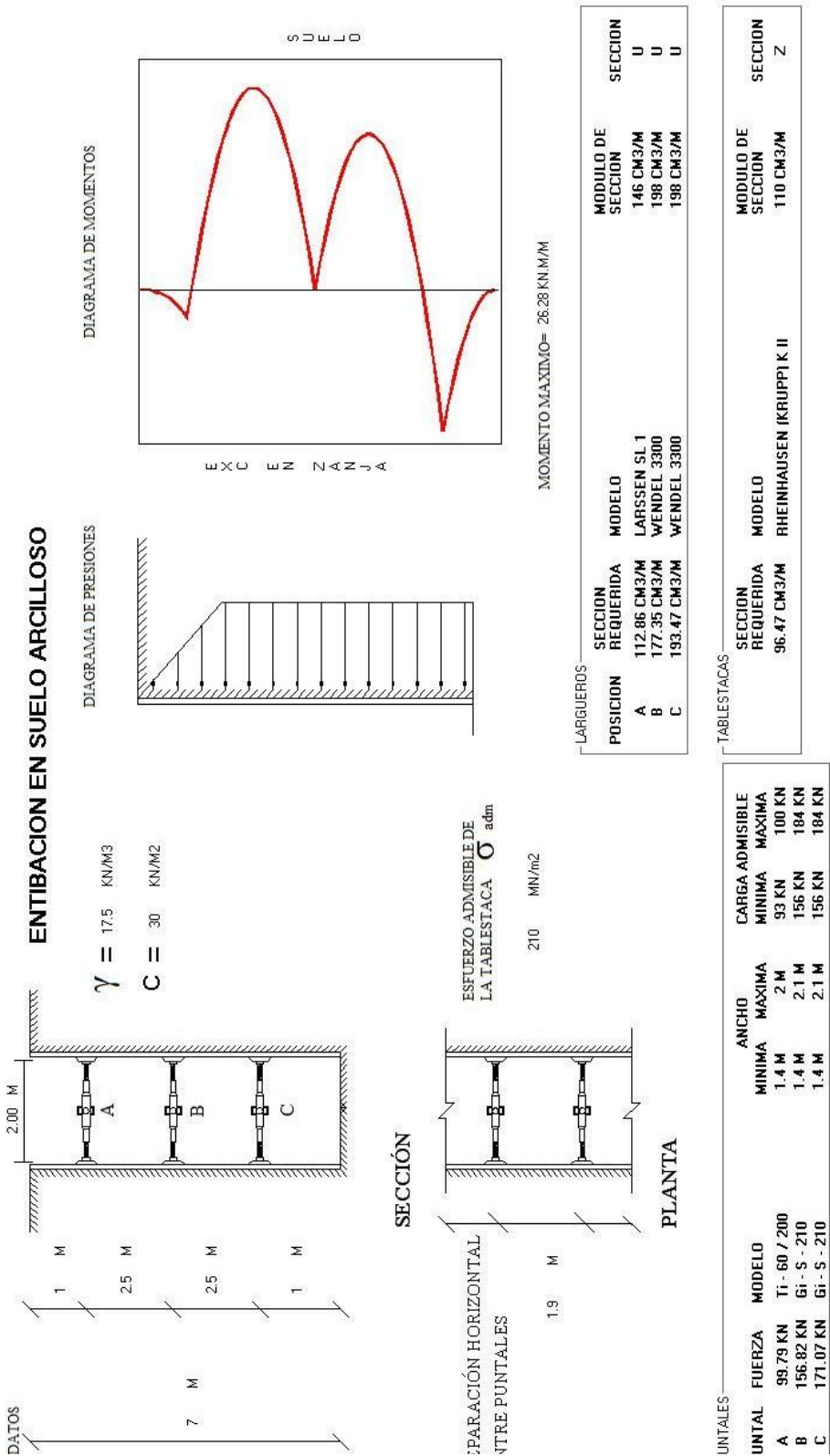


Figura 5.33 Resolución del Caso 8 en el programa GA.L.A.

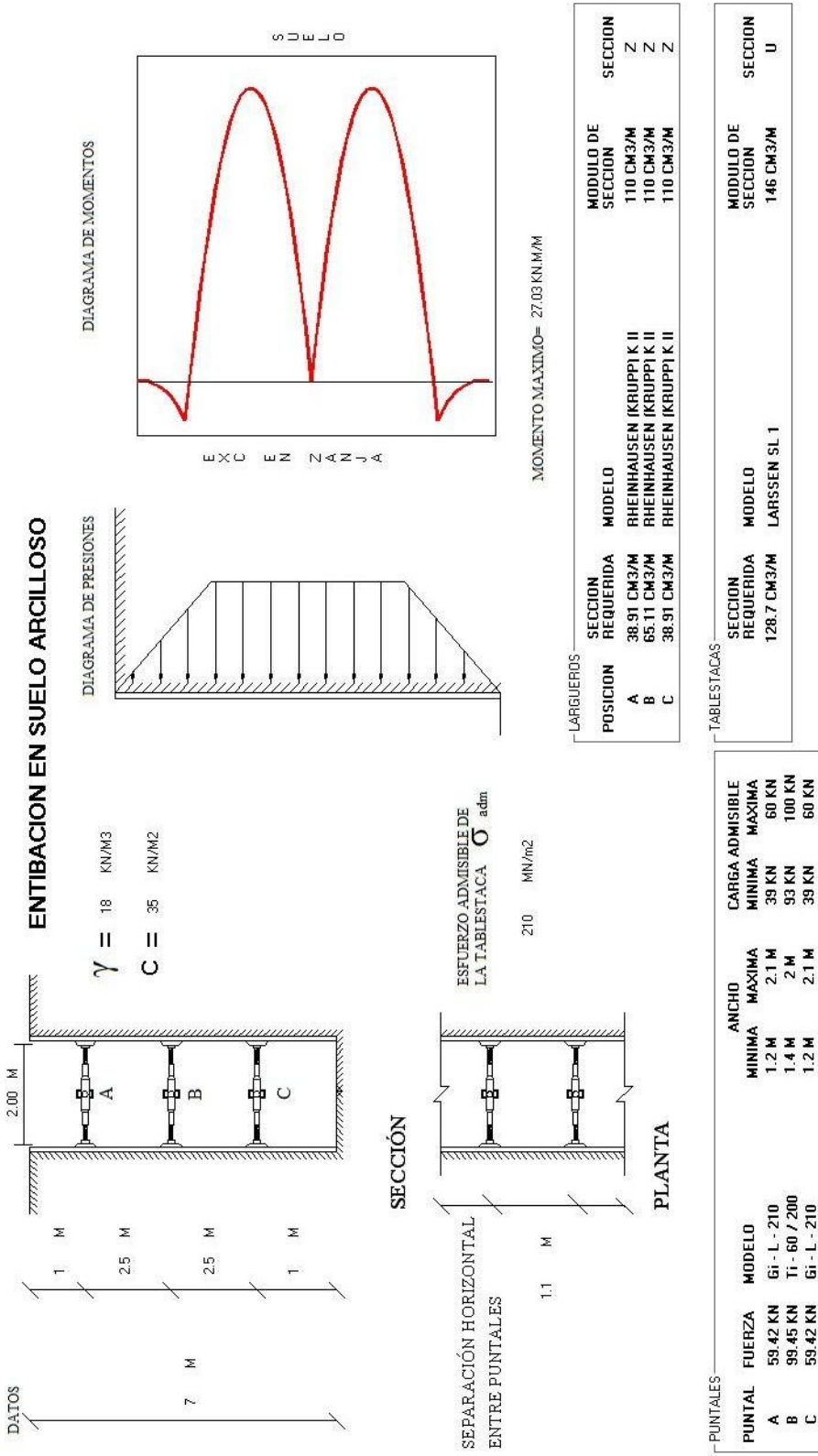


Figura 5.34 Resolución del Caso 10 en el programa GA.L.A.