

**AUXILIAR N° 3**  
**TOPOGRAFIA**

Profesor: Iván Bejarano

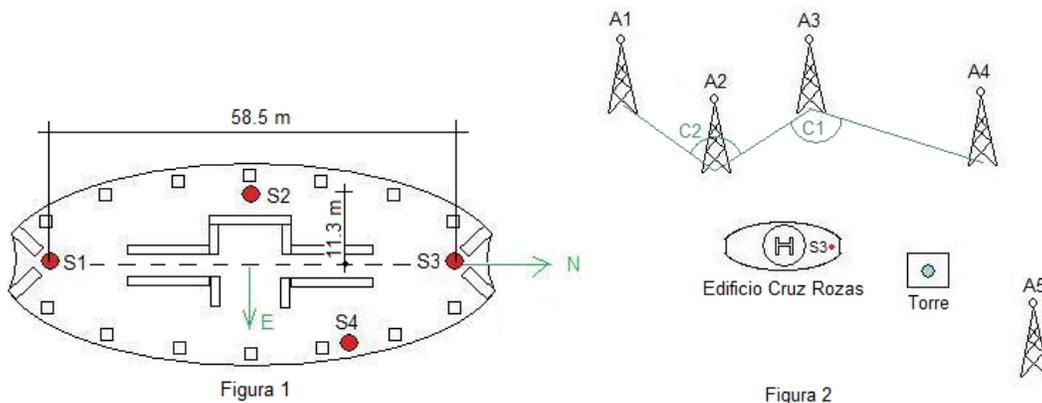
Auxiliares: Cristián Cruz D.  
Carlos Rozas R.

22 de Octubre de 2008

**Pregunta N°1**

En medio del auge de la construcción en altura en nuestro país, la prestigiosa corporación CRUZ ROZAS S.A ha decidido establecer su filial en Chile construyendo un enorme rascacielos de 60 pisos. El edificio contará con un conjunto de sistemas activos de protección sísmica, los que requieren estar conectados a un set de sensores que registren en todo momento los movimientos de la estructura. Para poder calibrar estos sensores se necesita conocer sus coordenadas (E, N) cuando el edificio está en su posición de equilibrio. Luego de revisar muchos currículums, los dueños de la empresa han decidido encargarle a usted, en calidad de experto topográfico, esta tarea.

Como se muestra en la figura 1. El edificio posee 3 sensores (S1, S2 y S3) ubicados en las direcciones principales de la estructura, cada 5 pisos partiendo desde el piso 1. Además, para monitorear las vibraciones de un equipo de alto valor comercial, se instaló un sensor (S4) en el piso 43, con coordenadas por determinar.



Para calcular las coordenadas de los sensores se realizó una reiteración desde una torre próxima al edificio a cuatro antenas de celular cercanas y a S3. Se realizó además una repetición desde S3, calando de A2 a la Torre (ver figura 2). Obteniéndose los registros de las tablas 1 y 2.

| Tabla 1: Reiteración desde torre |           |           |
|----------------------------------|-----------|-----------|
| Calaje                           | HD [grad] | HT [grad] |
| S3                               | 399.985   | 199.999   |
| A2                               | 7.048     | 207.053   |
| A3                               | 31.532    | 231.538   |
| A4                               | 98.647    | 298.652   |
| A5                               | 184.728   | 384.73    |
| S3                               | 400.008   | 200.001   |

| Tabla 2: Repetición desde S3 |           |           |          | Observaciones |         |
|------------------------------|-----------|-----------|----------|---------------|---------|
| Calaje D                     | HD [grad] | HT [grad] | Calaje T | n :           |         |
| A2                           | 399.998   | 0.014     | Torre    | $\alpha$ :    | 153.374 |
| Torre                        | 60.129    | 339.909   | A2       | $\alpha'$ :   | 246.646 |

De un proyecto anterior, se conocen las distancias horizontales entre A2 – A3 y A3 – A4. Se conocen también los ángulos C1 y C2 de la figura 2, el azimut A4 – A3 y las coordenadas de A4 (ver tabla 3). Se observa además que **A1, A2 y el punto de medición en la torre se encuentran alineados**. Se realizó además un registro de taquimetría entre S3 y el punto de medición de la torre (ver tabla 4).

| Tabla 3: Datos de proyecto anterior |          |        |
|-------------------------------------|----------|--------|
| Az A4-A3                            | 214.233  | [grad] |
| C1                                  | 112.842  | [grad] |
| C2                                  | 108.013  | [grad] |
| Dh A2-A3                            | 1043.21  | [m]    |
| Dh A3-A4                            | 2391.46  | [m]    |
| Coordenadas A4                      |          |        |
| E                                   | 26876.34 | [m]    |
| N                                   | 10872.58 | [m]    |

| Tabla 4: Datos Taquimetría S3 - Torre |         |          |
|---------------------------------------|---------|----------|
| Medida                                | Directa | Tránsito |
| ES [m]                                | 3.973   | 3.952    |
| EI [m]                                | 0.113   | 0.091    |
| Z [grad]                              | 99.745  | 299.673  |

- Con los datos anteriores, se pide encontrar las coordenadas (E, N) de los sensores S1, S2 y S3.
- De acuerdo a la norma NCh 433 Of. 96 “Diseño sísmico de edificios”, el desplazamiento máximo  $\Delta$  permitido entre dos pisos consecutivos es  $\Delta \leq 2\% h$ . Donde h es la altura entre pisos.

Según los cálculos de la oficina de ingeniería las coordenadas relativas de S4 con respecto al sensor S1 **del piso 60**, en caso de que en todos los pisos se tenga la deformación máxima legal, son  $\Delta E = 9.85$  m y  $\Delta N = 42.59$  m (Considere que la deformación es **sólo en la dirección norte**).

Si la altura entre pisos es de 4 metros, calcule las coordenadas absolutas de S4.

Nota:  $2\% = 0.002$

## Pregunta N°2

Para la conducción de agua hasta una central hidroeléctrica, se ha considerado la construcción de una tubería de acero. Sin embargo, dado el costo de esta alternativa, se le ha pedido a usted que estime la construcción de un canal excavado con el mismo presupuesto de la tubería y analice su factibilidad. Para esto, se midieron dos perfiles en terreno, separados una distancia horizontal  $D_h=30$  m. Además se cuenta con la siguiente información:

Tubería:

- Ancho de la plataforma para la tubería:  $b_T=2,5$  m.
- Taludes tubería: Corte: 1:3 (H:V). Relleno: 1:1 (H:V).
- Costo tubería de acero: \$4.976.455.
- Cotas de terreno y proyecto en A y B:  $CTA=112,8$  m,  $CTB=109,3$  m,  $CPA_T=111,5$  m,  $CPB_T=110,6$  m.

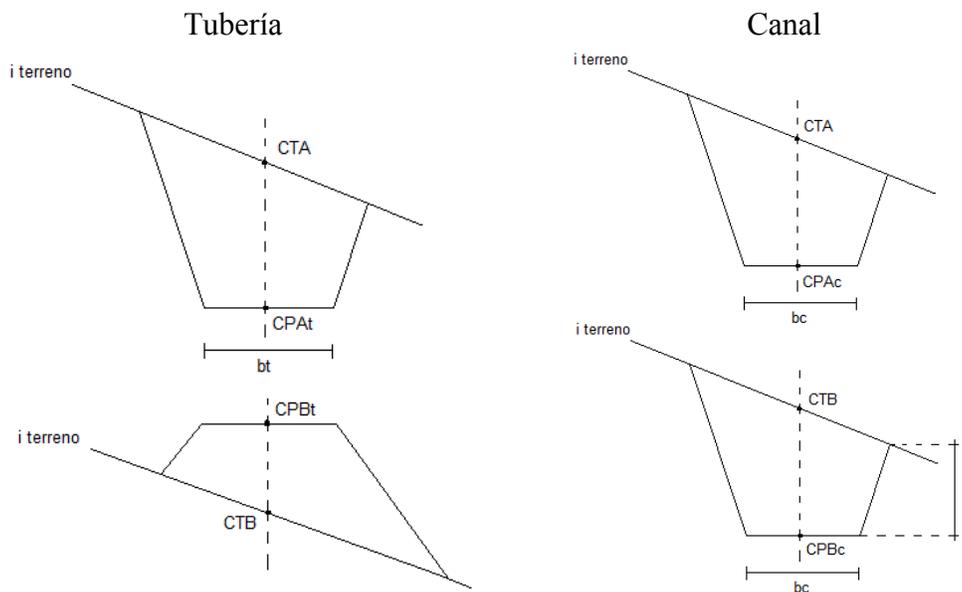
Canal excavado:

- Sección trapecial, de ancho basal  $b_c=3$  m.
- Talud canal: 1:2 (H:V).

Otra información:

- Pendiente transversal terreno natural:  $i_{\text{terreno}}=10\%$ .
- Costo unitario volumen corte: \$12.000/m<sup>3</sup>.
- Costo unitario volumen relleno: \$20.000/m<sup>3</sup>.

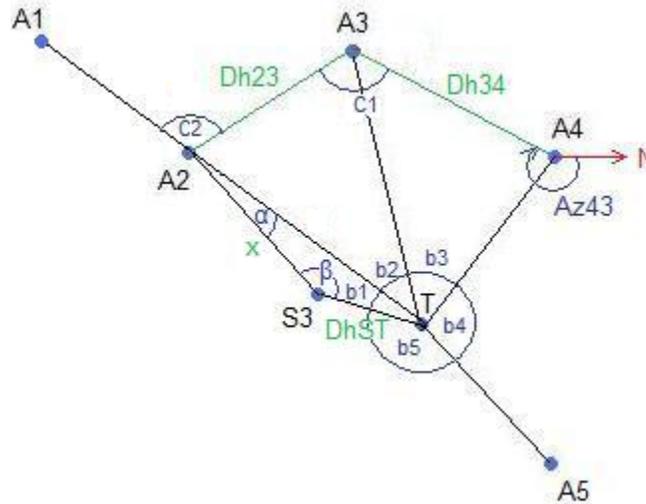
Si el canal debe tener una profundidad mínima  $h=2,05$  m en el perfil en B, estime la pendiente del canal y concluya si su construcción es factible, sabiendo que la pendiente no puede ser mayor a 0,1%.



Hint: Para el volumen de corte del canal, asuma  $1/3 < S_A/S_B < 3$

### **Pregunta N°3**

- a) Para la estimación de volúmenes es necesario el uso de la distancia entre perfiles transversales, en cuanto a ella, que tipo de distancia utiliza para la determinación. Explique claramente los fundamentos de su decisión.
- b) ¿Que efectividad tendría realizar una medida como la repetición para el caso de un ángulo vertical?, ¿cambiaría en algo si el taquímetro en cuestión correspondiera a uno del tipo digital en vez de uno mecánico?
- c) El GPS es una herramienta para la estimación de coordenadas absolutas. Explique en términos de un problema plano equivalente como funciona el posicionamiento global.
- d) Para el cálculo de coordenadas de un polígono, un topógrafo decide orientarlo según la dirección norte usando una brújula en cada vértice para la estimación del azimut. Usted como entendido en estas metodologías ¿que le comentaría y/o sugeriría como procedimiento de trabajo?



Parte a)

Tabla 1: Reiteración desde torre

| Calaje | HD [grad] | HT [grad] | HP       | HPR      | $\delta$ | HC       |
|--------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| S3     | 399.985   | 199.999   | -0.0080  | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   |
| A2     | 7.048     | 207.053   | 7.0505   | 7.0585   | -0.0002  | 7.0583   |
| A3     | 31.532    | 231.538   | 31.5350  | 31.5430  | -0.0010  | 31.5420  |
| A4     | 98.647    | 298.652   | 98.6495  | 98.6575  | -0.0031  | 98.6544  |
| A5     | 184.728   | 384.73    | 184.7290 | 184.7370 | -0.0058  | 184.7312 |
| S3     | 400.008   | 200.001   | 400.0045 | 400.0125 | -0.0125  | 400.0000 |
|        |           |           | ec:      | -0.0125  |          |          |

Tabla 2: Resultados ángulos reiteración

|    |          |        |
|----|----------|--------|
| b1 | 7.0583   | [grad] |
| b2 | 24.4837  | [grad] |
| b3 | 67.1124  | [grad] |
| b4 | 86.0768  | [grad] |
| b5 | 215.2688 | [grad] |

Repetición desde S3:

| Tabla 2: Repetición desde S3 |           |                 |                 | Observaciones |         |
|------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|---------------|---------|
| Calaje D                     | HD [grad] | HT [grad]       | Calaje T        | n :           | 3       |
| A2                           | 399.998   | 0.014           | Torre           | $\alpha$ :    | 153.374 |
| Torre                        | 60.129    | 339.909         | A2              | $\alpha'$ :   | 246.646 |
| Giros Completos              |           | 400             | 400             |               |         |
| Ángulo Total                 |           | 460.131         | 739.895         |               |         |
| Ángulo Provisorio            |           | 153.3770        | 246.6317        | ec:           | -0.0087 |
| Corrección                   |           | -0.0033         | -0.0053         |               |         |
| Ángulo Definitivo            |           | <b>153.3737</b> | <b>246.6263</b> | ec:           | 0.0000  |

Luego  $\beta = 153.3737$

$$\alpha = 200 - \beta - b1$$

$$\alpha = 39.568 \text{ grad}$$

Por Teo. Seno:

$$\frac{\text{sen}(b1)}{x} = \frac{\text{sen}(\alpha)}{Dh_{ST}}$$

| Medida      | Directa | Tránsito |
|-------------|---------|----------|
| ES [m]      | 3.973   | 3.952    |
| Ei [m]      | 0.113   | 0.091    |
| Z [grad]    | 99.745  | 299.673  |
| Dh [m]      | 385.994 | 386.090  |
| Dh promedio | 386.042 |          |

$$Dh_{ST} = KGsen^2(Z)$$

$$\Rightarrow x = 73.35 \text{ m}$$

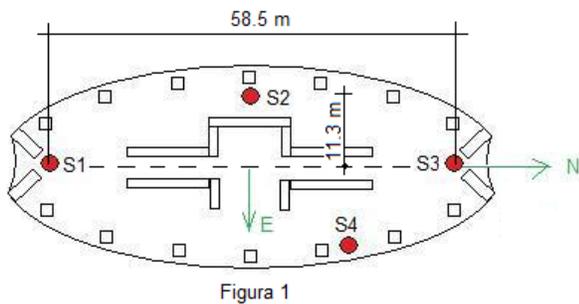
| Az       | Valor   | Unidad |
|----------|---------|--------|
| Az A4-A3 | 214.233 | [grad] |
| Az A3-A2 | 127.075 | [grad] |
| Az A2-S3 | 58.6300 | [grad] |

Traslado de Azimuts:  
 $Az_{A3-A2} = Az_{A4-A3} - 200 + C1$   
 $Az_{A2-S3} = Az_{A3-A2} - C2 + \alpha$

Calculamos las coordenadas de las antenas y de S3:

$$\Delta E = Dh \cdot sen(Az) \quad ; \quad \Delta N = Dh \cdot cos(Az)$$

| Punto | $\Delta E$ [m] | $\Delta N$ [m] | E [m]    | N [m]    |
|-------|----------------|----------------|----------|----------|
| A4    | 0,00           | 0,00           | 26876,34 | 10872,58 |
| A3    | -530,22        | -2331,94       | 26346,12 | 8540,64  |
| A2    | 950,28         | -430,42        | 27296,40 | 8110,22  |
| S3    | 307,36         | 233,58         | 27603,76 | 8343,80  |



| Punto | $\Delta E$ [m] | $\Delta N$ [m] | E [m]    | N [m]   |
|-------|----------------|----------------|----------|---------|
| S1    | 0,00           | -58,50         | 27603,76 | 8285,30 |
| S2    | -11,30         | -29,25         | 27592,46 | 8314,55 |
| S3    | 0,00           | 0,00           | 27603,76 | 8343,80 |

**Parte b)**

| h                    | 4     | [m] |
|----------------------|-------|-----|
| 0.002h               | 0.008 | [m] |
| $\Delta_{max}$ p. 60 | 0.472 | [m] |
| $\Delta_{max}$ p. 43 | 0.336 | [m] |

$$\Delta_{max} \text{ piso } i = 0.002 \cdot h \cdot (i - 1)$$

Coordenadas relativas entre S1 p. 60 y S4 en posición deformada:  
 $\Delta E = 9.85 \text{ m} ; \Delta N = 42.59 \text{ m}$

Coordenadas absolutas en posición deformada:

| Ed | 27613.61 | [m] |
|----|----------|-----|
| Nd | 8328.36  | [m] |

| E | 27613.61 | [m] |
|---|----------|-----|
| N | 8328.03  | [m] |

$$Ed = \Delta E + E_{S1}$$

$$Nd = \Delta N + N_{S1} + \Delta_{max} \text{ p.60}$$

$$E_{S4} = Ed$$

$$N_{S4} = Nd - \Delta_{max} \text{ p.43}$$

Planta PZ CZ CISSA  
OTOÑO 2008

Tubería:

Perfil A:

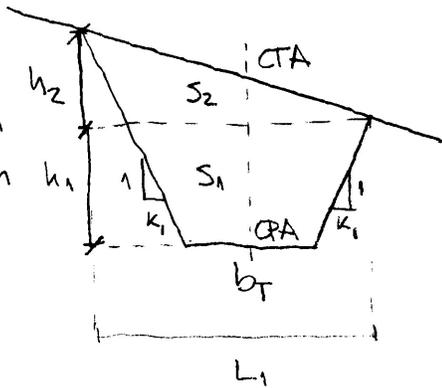
$$CTA = 112,8 \text{ m}$$

$$CPA = 111,5 \text{ m}$$

$$k_1 = 1/3$$

$$b_T = 2,5 \text{ m}$$

$$i_{\text{tubo}} = 0,1$$



$$S_1 = \frac{(b_T + b_T + 2k_1 h_1) \cdot h_1}{2}$$

$$S_1 = h_1 (b_T + k_1 h_1)$$

$$S_2 = \frac{h_2 \cdot (b_T + 2k_1 h_1)}{2}$$

$$L_1 = b_T + 2k_1 h_1 + k_1 \cdot h_2$$

$$CTA - CPA = h_1 + \frac{i_{\text{tubo}}}{2} \cdot (b_T + 2k_1 h_1)$$

$$CTA - CPA = h_1 + \frac{i_{\text{tubo}}}{2} b_T + i_{\text{tubo}} k_1 h_1$$

$$\Rightarrow h_1 = \frac{CTA - CPA - \frac{i_T}{2} b_T}{1 + i_T k_1} = \frac{112,8 - 111,5 - \frac{0,1}{2} \cdot 2,5}{1 + 0,1 \cdot \frac{1}{3}} = 1,137 \text{ m}$$

$$h_2 = i_T \cdot L_1 = i_T (b_T + 2k_1 h_1 + k_1 h_2)$$

$$h_2 = i_T b_T + i_T 2k_1 h_1 + i_T k_1 h_2$$

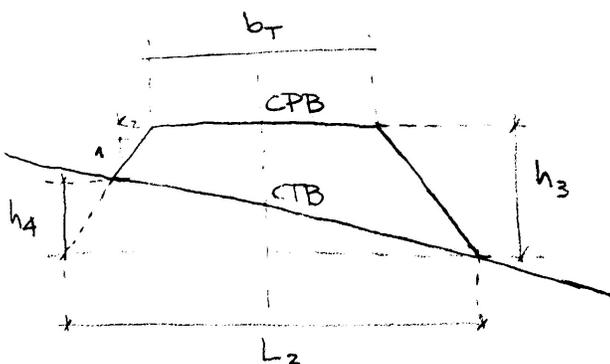
$$\Rightarrow h_2 = \frac{i_T b_T + i_T 2k_1 h_1}{1 - i_T k_1} = \frac{0,1 \cdot 2,5 + 0,1 \cdot 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 1,137}{1 - 0,1 \cdot \frac{1}{3}} = 0,337 \text{ m}$$

Luego:  $S_1 = 1,137 (2,5 + \frac{1}{3} \cdot 1,137) = 3,273 \text{ m}^2$

$$S_2 = \frac{0,337 (2,5 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 1,137)}{2} = 0,549 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow S_{TA} = S_1 + S_2 = 3,822 \text{ m}^3$$

Perfil B:



$$CPB = 110,6 \text{ m}$$

$$CTB = 109,3 \text{ m}$$

$$k_2 = 1$$

$$b_T = 2,5 \text{ m}$$

$$L_2 = b_T + 2h_3$$

$$S_3 = \text{Área del trapecio de altura } h_3$$

$$S_4 = \text{Área del triángulo inferior}$$

$$S_3 = \frac{(b_T + b_T + 2h_3) \cdot h_3}{2} = h_3 (b_T + h_3)$$

$$S_4 = \frac{h_4 \cdot L_2}{2} = \frac{h_4}{2} (b_T + 2h_3)$$

$$CPB - CTB = h_3 - i_T \frac{(b_T + 2h_3)}{2}$$

$$CPB - CTB = h_3 - \frac{i_T b_T}{2} - i_T h_3$$

$$\Rightarrow h_3 = \frac{CPB - CTB + \frac{i_T b_T}{2}}{1 - i_T} = \frac{110,6 - 109,3 + \frac{0,1 \cdot 2,5}{2}}{1 - 0,1} = 1,583 \text{ m}$$

$$h_4 = i_T \cdot (L_2 - h_4) = i_T (b_T + 2h_3 - h_4)$$

$$\Rightarrow h_4 = \frac{i_T b_T + 2i_T h_3}{1 + i_T} = \frac{0,1 \cdot 2,5 + 2 \cdot 0,1 \cdot 1,583}{1 + 0,1} = 0,515 \text{ m}$$

$$S_3 = 1,583 (2,5 + 1,583) = 6,463 \text{ m}^2$$

$$S_4 = \frac{0,515 (2,5 + 2 \cdot 1,583)}{2} = 1,459 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow S_{TB} = S_3 - S_4 = 5,004 \text{ m}^2$$

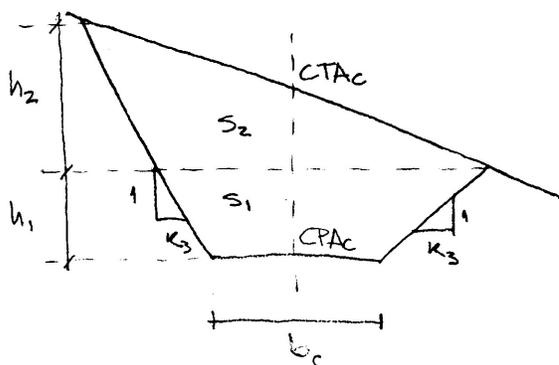
Volumenes:  $V_C = \frac{Dh}{2} \frac{S_c^2}{S_c + S_R} = \frac{30}{2} \frac{3,822^2}{3,822 + 5,004} = 24,826 \text{ m}^3$

$$V_R = \frac{Dh}{2} \frac{S_R^2}{S_c + S_R} = \frac{30}{2} \frac{5,004^2}{3,822 + 5,004} = 42,556 \text{ m}^3$$

Costo total tubería:  $C_{TOTAL} = 12000 V_C + 20000 V_R + C_{tubería}$

$$C_{TOTAL} = 12000 \cdot 24,826 + 20000 \cdot 42,556 + 4.976.455 = 6.125.487$$

CANAL:



Las ecuaciones son las mismas que para la superficie de corte de la tubería:

Perfil A:

$$S_1 = h_1 (b_c + k_3 h_1)$$

$$S_2 = \frac{h_2 (b_c + 2k_3 h_1)}{2}$$

$$h_2 = \frac{i_T b_c + i_T 2k_3 h_1}{1 - i_T k_3}$$

$$k_3 = 0,5$$

$$b_c = 3 \text{ m}$$

Perfil B:

$$\tilde{S}_1 = \tilde{h}_1 (b_c + k_3 \tilde{h}_1)$$

$$\tilde{h}_2 = \frac{i_T b_c + i_T 2k_3 \tilde{h}_1}{1 - i_T k_3}$$

$$\tilde{S}_2 = \frac{\tilde{h}_2 (b_c + 2k_3 \tilde{h}_1)}{2}$$

$$\tilde{h}_1 = 2,05 \text{ m} \Rightarrow \tilde{h}_2 = \frac{0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 2,05}{1 - 0,1 \cdot 0,5} = 0,532 \text{ m}$$

$$S_{TA} = S_1 + S_2 = h_1 (b_c + k_3 h_1) + \frac{h_2 (b_c + 2k_3 h_1)}{2}$$

$$S_{TB} = \tilde{S}_1 + \tilde{S}_2 = \tilde{h}_1 (b_c + k_3 \tilde{h}_1) + \frac{\tilde{h}_2 (b_c + 2k_3 \tilde{h}_1)}{2}$$

$$S_{TB} = 2,05 (3 + 0,5 \cdot 2,05) + \frac{0,532 (3 + 2 \cdot 0,5 \cdot 2,05)}{2} = 9,595 \text{ m}^2$$

Volumen corte canal:

$$V_{cc} = \frac{D_L}{2} (S_{TA} + S_{TB}) = 15 \left( h_1 (3 + 0,5 h_1) + \frac{h_2 (3 + h_1)}{2} + 9,595 \right)$$

Imponiendo condición de presupuesto y reemplazando  $h_2$ :

$$12.000 \cdot 15 \left( h_1 (3 + 0,5 h_1) + \frac{i_T (3 + h_1)^2}{2(1 - i_T \cdot 0,5)} + 9,595 \right) = 6.125.487$$

$$3h_1 + 0,5h_1^2 + 0,053(9 + 6h_1 + h_1^2) + 9,595 = 34,03$$

$$3h_1 + 0,5h_1^2 + 0,477 + 0,318h_1 + 0,053h_1^2 = 24,435$$

$$0,553h_1^2 + 3,318h_1 - 23,958 = 0$$

$$\Rightarrow h_1 = \frac{-3,318 \pm \sqrt{3,318^2 + 4 \cdot 0,553 \cdot 23,958}}{2 \cdot 0,553}$$

$$\Rightarrow h_1 = 4,234 \text{ m}$$

$$\text{Cotas de Proyecto: } CTA - CPA_c = h_1 + \frac{i_T}{2} (b_c + 2k_3 h_1)$$

$$\Rightarrow CPA_c = 112,8 - 4,234 - \frac{0,1}{2} (3 + 2 \cdot 0,5 \cdot 4,234) = 108,2 \text{ m}$$

$$CTB - CPB_c = \tilde{h}_1 + \frac{i_T}{2} (b_c + 2k_3 \tilde{h}_1)$$

$$\Rightarrow CPB_c = 109,3 - 2,05 - \frac{0,1}{2} (3 + 2 \cdot 0,5 \cdot 2,05) = 107 \text{ m}$$

$$\text{Pendiente canal: } i_c = \frac{108,2 - 107}{30} = 0,04$$

$$\text{Pendiente máxima: } i_{\max} = 0,001 < i_c = 0,04$$

$\Rightarrow$  Canal no es factible de construir