

# Tramos Revestidos

## Trabajo Práctico

Manuel F. Martín

Septiembre de 2016

### Etapa 1

a) Para trazar la rasante tuvimos en cuenta las siguientes pautas:

- Realizar exclusivamente excavaciones, lo que implica que la rasante se ubique por debajo de la cota del fondo existente o la supere en a lo sumo  $20cm$  en  $200m$ , ya que realizar un relleno es muy difícil y costoso.
- Intentar que la misma se adapte de la mejor manera posible a la topografía existente, de manera tal que se realice la menor cantidad de excavaciones posibles.

b) Dimensionamiento de los tramos de material erosionable

#### Método de la fuerza tractiva

##### Tramo 1

$$r = 20\% \quad h_{disp} = 1.12m \text{ (en progresiva } 5.6km) \quad I = 0.00147$$

$$Q = 3.85m^3/s \quad V_{max} = 1.5m/s \quad n = 0.035 \quad m = 1$$

Relación de huecos: 0.3      Agua: poco limosa, limo muy fino

Suelo cohesivo:

$$\begin{aligned} \tau_{resistente\ talud} &= \tau_{resistente\ fondo} \\ \tau_{act\ talud} &= 0.75 \gamma y I \leq \tau_{resistente\ talud} \\ \tau_{act\ fondo} &= 0.97 \gamma y I \leq \tau_{resistente\ fondo} \implies \text{más condicionante} \end{aligned}$$

Con la relación de huecos y el tipo de suelo, buscamos en la tabla que vincula fuerza tractiva con relación de huecos y obtenemos el  $\tau_{resistente\ fondo} = 0.38lb/ft^2 = 1.855kg/m^2$ .

$$\begin{aligned} y &\leq \frac{\tau_{resistente\ fondo}}{0.97 \gamma I} \\ y &\leq 1.30m \end{aligned}$$

A pesar de que el suelo podría soportar un tirante mayor a nuestra  $h_{disp}$ , en este caso la  $h_{disp}$  sigue siendo  $1.12m$ , ya que si adoptáramos un  $h_{disp}$  mayor, el canal podría desbordarse. Considerando la revancha obtenemos  $1.2y = 1.12m$ , luego  $y = 0.93m$ .

$$\begin{cases} Q = VA \\ V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \end{cases} \implies Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A$$

$$\begin{cases} Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1+m^2} \end{cases} \implies \begin{cases} Q = \frac{1}{0.035} R^{2/3} 0.00147^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = B_f 0.93m + (0.93m)^2 \\ P = B_f + 20.93m\sqrt{2} \end{cases} \implies B_f = 3.92m$$

Debido a que la apreciación debe ser de  $0.1m$ , adoptamos  $B_f = 4m$ . Luego, calculamos el tirante correspondiente para el  $B_f$  adoptado.

$$\begin{cases} Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1+m^2} \end{cases} \implies \begin{cases} Q = \frac{1}{0.035} R^{2/3} 0.00147^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = 4m y + y^2 \\ P = 4m + 2y\sqrt{2} \end{cases} \implies y = 0.92m$$

Luego,

$$\begin{cases} A = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1+m^2} \end{cases} \implies \begin{cases} A = 4.53m^2 \\ P = 6.60m \end{cases} \implies R = 0.69m$$

#### Verificación

- Tensiones

$$\begin{aligned} 0.97 \gamma R S &\leq \tau_{resistente\ fondo} \\ 0.97 \cdot 1000kg/m^3 \cdot 0.69m \cdot 0.00147 &\leq \tau_{resistente\ fondo} \\ 0.984kg/m^2 &\leq 1.855kg/m^2 \quad \therefore VERIFICA \end{aligned}$$

- Escurrimiento

– De la ecuación de continuidad obtenemos la velocidad media:

$$V_m = \frac{Q}{A} = \frac{3.85m^3/s}{4.53m^2} = 0.85m/s$$

– Para obtener la  $V_{min}$ , sabiendo el tirante y el tipo de agua, poco limoso de limo fino, buscamos en la tabla de velocidades mínimas y obtenemos  $V_{min} = 0.44m/s$ .

$$\begin{cases} V_{min} = 0.44m/s \\ V_{max} = 1.5m/s \end{cases} \implies V_m = 0.85m/s \quad \therefore VERIFICA$$

- Desborde

$$r = 20\% \quad h_{disp} = 1.12m$$

$$\begin{aligned} y + r &\leq h_{disp} \\ 0.92m + 0.2 \times 0.92m &\leq h_{disp} \\ 1.10m &\leq 1.12m \quad \therefore VERIFICA \end{aligned}$$

## Tramo 2

$$r = 20\% \quad h_{disp} = 1.83m \text{ (en progresiva } 4.1km) \quad I = 0.00105$$

$$Q = 6.6m^3/s \quad V_{max} = 1.5m/s \quad n = 0.035 \quad m = 1$$

Relación de huecos: 0.3      Agua: poco limosa, limo muy fino

Suelo cohesivo:

$$\tau_{resistente\ talud} = \tau_{resistente\ fondo}$$

$$\tau_{act\ talud} = 0.75 \gamma y I \leq \tau_{resistente\ talud}$$

$$\tau_{act\ fondo} = 0.97 \gamma y I \leq \tau_{resistente\ fondo} \implies \text{más condicionante}$$

Con la relación de huecos y el tipo de suelo, buscamos en la tabla que vincula fuerza tractiva con relación de huecos y obtenemos el  $\tau_{resistente\ fondo} = 0.38lb/ft^2 = 1.855kg/m^2$

$$y \leq \frac{\tau_{resistente\ fondo}}{0.97 \gamma I}$$

$$y \leq 1.82m$$

A pesar de que la altura máxima disponible es de  $1.83m$ , las características del suelo nos limitan la  $h_{disp}$  a  $1.82m$ . Considerando la revancha obtenemos  $1.2y = 1.82m$ , luego  $y = 1.52m$ .

$$\begin{cases} Q = V A \\ V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \end{cases} \implies Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A$$

$$\begin{cases} Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1+m^2} \end{cases} \implies \begin{cases} Q = \frac{1}{0.035} R^{2/3} 0.00105^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = B_f 1.52m + (1.52m)^2 \\ P = B_f + 2 \cdot 1.52m\sqrt{2} \end{cases} \implies B_f = 3.289m$$

Ya que no se debe disminuir la sección aguas abajo, adoptamos  $B_f = 4m$ , de modo que sea igual al utilizado en el tramo anterior. Luego, calculamos el tirante correspondiente para el  $B_f$  adoptado.

$$\begin{cases} Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1+m^2} \end{cases} \implies \begin{cases} Q = \frac{1}{0.035} R^{2/3} 0.00105^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = 4m y + y^2 \\ P = 4m + 2y\sqrt{2} \end{cases} \implies y = 1.38m$$

Luego,

$$\begin{cases} A = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1+m^2} \end{cases} \implies \begin{cases} A = 7.42m^2 \\ P = 7.90m \end{cases} \implies R = 0.94m$$

Verificación

- Tensiones

$$\begin{aligned}
 0.97 \gamma R S &\leq \tau_{resistente\ fondo} \\
 0.97 \cdot 1000 kg/m^3 \cdot 0.94m \cdot 0.00105 &\leq \tau_{resistente\ fondo} \\
 0.957 kg/m^2 &\leq 1.855 kg/m^2 \quad \therefore VERIFICA
 \end{aligned}$$

- Escurrimiento

- De la ecuación de continuidad obtenemos la velocidad media:

$$V_m = \frac{Q}{A} = \frac{6.6 m^3/s}{7.42 m^2} = 0.89 m/s$$

- Para obtener la  $V_{min}$ , sabiendo el tirante y el tipo de agua, poco limoso de limo fino, buscamos en la tabla de velocidades mínimas y obtenemos  $V_{min} = 0.53 m/s$ .

$$\begin{cases} V_{min} = 0.53 m/s \\ V_{max} = 1.5 m/s \end{cases} \implies V_m = 0.89 m/s \quad \therefore VERIFICA$$

- Desborde

$$r = 20\% \quad h_{disp} = 1.82m$$

$$\begin{aligned}
 y + r &\leq h_{disp} \\
 1.38m + 0.2 \times 1.38m &\leq h_{disp} \\
 1.66m &\leq 1.82m \quad \therefore VERIFICA
 \end{aligned}$$

### Tramo 3

$$r = 20\% \quad h_{disp} = 2.47m \text{ (en progresiva 2.5km)} \quad I = 0.00086$$

$$Q = 11.6 m^3/s \quad V_{max} = 1.5 m/s \quad n = 0.035 \quad m = 1$$

Relacion de huecos: 0.3      Agua: poco limosa, limo muy fino

Suelo cohesivo:

$$\begin{aligned}
 \tau_{resistente\ talud} &= \tau_{resistente\ fondo} \\
 \tau_{act\ talud} &= 0.75 \gamma y I \leq \tau_{resistente\ talud} \\
 \tau_{act\ fondo} &= 0.97 \gamma y I \leq \tau_{resistente\ fondo} \implies \text{más condicionante}
 \end{aligned}$$

Con la relación de huecos y el tipo de suelo, buscamos en la tabla que vincula fuerza tractiva con relación de huecos y obtenemos el  $\tau_{resistente\ fondo} = 0.38 lb/ft^2 = 1.855 kg/m^2$

$$\begin{aligned}
 y &\leq \frac{\tau_{resistente\ fondo}}{0.97 \gamma I} \\
 y &\leq 2.21m
 \end{aligned}$$

A pesar de que la altura máxima disponible es de 2.47m, las características del suelo nos limitan la  $h_{disp}$  a 2.21m. Considerando la revancha obtenemos  $1.2y = 2.21m$ , luego  $y = 1.84m$ .

$$\begin{cases} Q = V A \\ V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \end{cases} \implies Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A$$

$$\begin{cases} Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1+m^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Q = \frac{1}{0.035} R^{2/3} 0.00086^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = B_f 1.84m + (1.84m)^2 \\ P = B_f + 2 \cdot 1.84m\sqrt{2} \end{cases} \Rightarrow B_f = 4.75m$$

Debido a que la apreciación debe ser de  $0.1m$ , adoptamos  $B_f = 4.8m$ . Luego, calculamos el tirante correspondiente para el  $B_f$  adoptado.

$$\begin{cases} Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1+m^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Q = \frac{1}{0.035} R^{2/3} 0.00086^{1/2} A \\ R = \frac{A}{P} \\ A = 4.8m y + y^2 \\ P = 4.8m + 2y\sqrt{2} \end{cases} \Rightarrow y = 1.83m$$

Luego,

$$\begin{cases} A = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1+m^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = 12.13m^2 \\ P = 9.98m \end{cases} \Rightarrow R = 1.22m$$

#### Verificación

- Tensiones

$$\begin{aligned} 0.97 \gamma R S &\leq \tau_{resistente\ fondo} \\ 0.97 \cdot 1000kg/m^3 \cdot 1.22m \cdot 0.00086 &\leq \tau_{resistente\ fondo} \\ 1.018kg/m^2 &\leq 1.855kg/m^2 \quad \therefore VERIFICA \end{aligned}$$

- Escurrimiento

– De la ecuación de continuidad obtenemos la velocidad media:

$$V_m = \frac{Q}{A} = \frac{11.6m^3/s}{12.13m^2} = 0.95m/s$$

– Para obtener la  $V_{min}$ , sabiendo el tirante y el tipo de agua, poco limoso de limo fino, buscamos en la tabla de velocidades mínimas y obtenemos  $V_{min} = 0.63m/s$ .

$$\begin{cases} V_{min} = 0.63m/s \\ V_{max} = 1.5m/s \end{cases} \Rightarrow V_m = 0.95m/s \quad \therefore VERIFICA$$

- Desborde

$$r = 20\% \quad h_{disp} = 2.21m$$

$$\begin{aligned} y + r &\leq h_{disp} \\ 1.83m + 0.2 \times 1.83m &\leq h_{disp} \\ 2.2m &\leq 2.21m \quad \therefore VERIFICA \end{aligned}$$

#### Método de la velocidad máxima

##### Tramo 1

$$r = 20\% \quad h_{disp} = 1.12m \text{ (en progresiva } 5.6km) \quad I = 0.00147$$

$$Q = 3.85m^3/s \quad V_{max} = 1.5m/s \quad n = 0.035 \quad m = 1$$

Relación de huecos: 0.3      Agua: poco limosa, limo muy fino

Calculamos el área estable

$$A_e = \frac{Q}{V_{max}} = \frac{3.85m^3/s}{1.5m/s} = 2.57m^2$$

Luego, aplicando la ecuación de Chazy Manning

$$V_{max} = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \implies R = 1.6m$$

$$P = \frac{A_e}{R} = \frac{2.57m^2}{1.6m} = 1.61m$$

$$\begin{cases} A_e = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1 + m^2} \end{cases} \implies \text{sólo soluciones complejas}$$

### Tramo 2

$$r = 20\% \quad h_{disp} = 1.83m \text{ (en progresiva 4.1km)} \quad I = 0.00105$$

$$Q = 6.6m^3/s \quad V_{max} = 1.5m/s \quad n = 0.035 \quad m = 1$$

Relación de huecos: 0.3      Agua: poco limosa, limo muy fino

Calculamos el área estable

$$A_e = \frac{Q}{V_{max}} = \frac{6.6m^3/s}{1.5m/s} = 4.4m^2$$

Luego, aplicando la ecuación de Chazy Manning

$$V_{max} = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \implies R = 2.06m$$

$$P = \frac{A_e}{R} = \frac{4.4m^2}{2.06m} = 2.14m$$

$$\begin{cases} A_e = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1 + m^2} \end{cases} \implies \text{sólo soluciones complejas}$$

### Tramo 3

$$r = 20\% \quad h_{disp} = 2.47m \text{ (en progresiva 2.5km)} \quad I = 0.00086$$

$$Q = 11.6m^3/s \quad V_{max} = 1.5m/s \quad n = 0.035 \quad m = 1$$

Relacion de huecos: 0.3      Agua: poco limosa, limo muy fino

Calculamos el área estable

$$A_e = \frac{Q}{V_{max}} = \frac{11.6m^3/s}{1.5m/s} = 7.73m^2$$

Luego, aplicando la ecuación de Chazy Manning

$$V_{max} = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \implies R = 2.4m$$

$$P = \frac{A_e}{R} = \frac{7.73m^2}{2.4m} = 3.22m$$

$$\begin{cases} A_e = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1+m^2} \end{cases} \implies \text{sólo soluciones complejas}$$

### Conclusión

Este método no es aplicable para estos casos en particular dados los datos disponibles. Para poder obtener soluciones reales podríamos bajar la  $V_{max}$ , sin embargo dejaría de ser el método de la velocidad máxima. Debido a esto debemos utilizar el método de la fuerza tractiva para poder hacer el dimensionamiento en forma más precisa.

## Diagrama de Flujo del método de la fuerza tractiva

### Tramo 1r

$$h = 1.42m \quad B_f = 5m \quad m = 1 \quad V_{max} = 5m/s$$

$$n = 0.016m^3/s \quad Q_t = 11.63 \quad I = 0.00785$$

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A \quad R = \frac{A}{P}$$

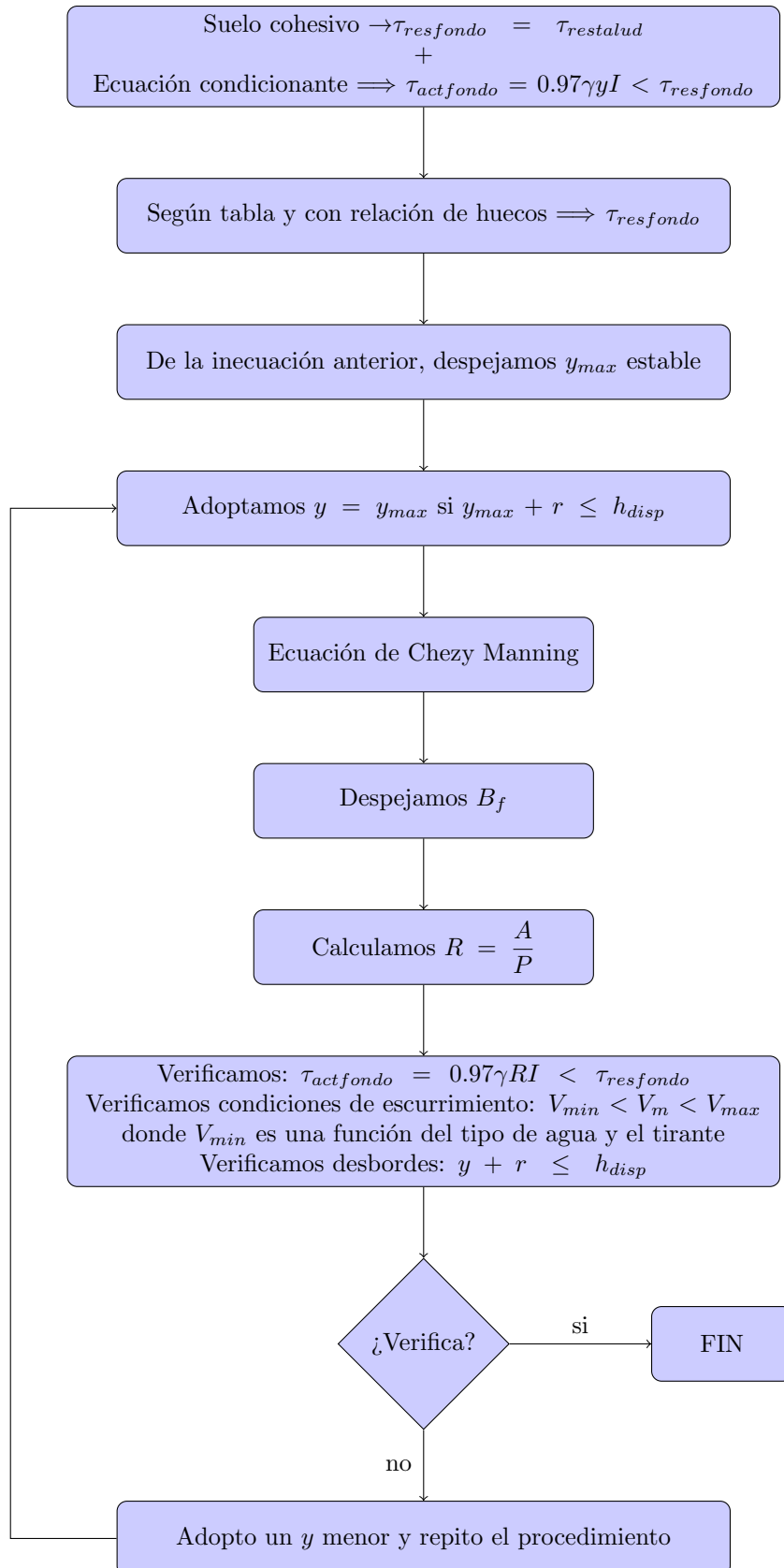
$$\begin{cases} \frac{Qn}{I^{1/2}} = R^{2/3} A = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \\ A = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1+m^2} \end{cases}$$

$$\frac{Qn}{I^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} = \sqrt[3]{\frac{A^5}{P^2}} \implies \frac{Qn^3}{I^{1/2}} = \frac{A^5}{P^2}$$

$$\frac{A^5}{P^2} = \frac{(5y + y^2)^5}{(5 + 2\sqrt{2}y)^2} = 9.19 \implies y_1 = -5.7157 \vee y_2 = 0.5955$$

Como el valor de  $y$  no puede ser negativo, consideramos el valor de  $y_2$

$$\begin{cases} A = 5y + y^2 = 3.33m^2 \\ P = 5 + 2\sqrt{2}y = 6.68m \end{cases} \implies R = 0.50m \implies \tau = \gamma R S 0.97 = 3.81kg/m^2$$





## Verificación

### Escurrecimiento

- De la ecuación de continuidad obtenemos la velocidad media:

$$V_m = \frac{Q}{A} = \frac{11.6}{3.93} = 2.95m/s$$

- Para obtener la  $V_{min}$ , sabiendo el tirante y el tipo de agua, poco limoso de limo fino, buscamos en la tabla de velocidades mínimas y obtenemos  $V_{min} = 0.36m/s$ .

$$\begin{cases} V_{min} = 0.36m/s \\ V_{max} = 5m/s \end{cases} \implies V_m = 2.95m/s \quad \therefore VERIFICA$$

### Desborde

$$r = 20\% \quad h_{disp} = 1.42m$$

$$y + r \leq h_{disp}$$

$$0.5955m + 0.2 \times 0.5955m \leq h_{disp}$$

$$0.7146m \leq 1.42m \quad \therefore VERIFICA$$

## Tramo 2r

$$h = 1.82m(\text{progresiva } 0.1km) \quad B_f = 5m \quad m = 1 \quad V_{max} = 5m/s$$

$$n = 0.016m^3/s \quad Q_t = 11.6m^3 \quad I = 0.00113$$

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} A \quad R = \frac{A}{P}$$

$$\begin{cases} \frac{Qn}{I^{1/2}} = R^{2/3} A = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} \\ A = B_f y + m y^2 \\ P = B_f + 2y\sqrt{1 + m^2} \end{cases}$$

$$\frac{Qn}{I^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}} = \sqrt[3]{\frac{A^5}{P^2}} \implies \frac{Qn^3}{I^{3/2}} = \frac{A^5}{P^2}$$

$$\frac{A^5}{P^2} = \frac{(5y + y^2)^5}{(5 + 2\sqrt{2}y)^2} = 168.31m \implies y_1 = -6.2333m \vee y_2 = 1.0568m$$

Como el valor de  $y$  no puede ser negativo, consideramos el valor de  $y_2$

$$\begin{cases} A = 5y - y^2 = 6.40m^2 \\ P = 5 + 2\sqrt{2}y = 7.99m \end{cases} \implies R = 0.80m \implies \tau = \gamma R S 0.97 = 0.88kg/m^2$$

## Verificación

### Escurrecimiento

- De la ecuación de continuidad obtenemos la velocidad media:

$$V_m = \frac{Q}{A} = \frac{11.6}{6.4} = 1.81m/s$$

- Para obtener la  $V_{min}$ , sabiendo el tirante y el tipo de agua, poco limoso de limo fino, buscamos en la tabla de velocidades mínimas y obtenemos  $V_{min} = 0.47m/s$ .

$$\begin{cases} V_{min} = 0.47m/s \\ V_{max} = 5m/s \end{cases} \implies V_m = 1.81m/s \quad VERIFICA$$

### Desborde

$$r = 20\% \quad h_{disp} = 1.82m$$

$$y + r \leq h_{disp}$$

$$1.0568m + 0.2 \times 1.0568m \leq h_{disp}$$

$$1.27m \leq 1.82m \quad VERIFICA$$