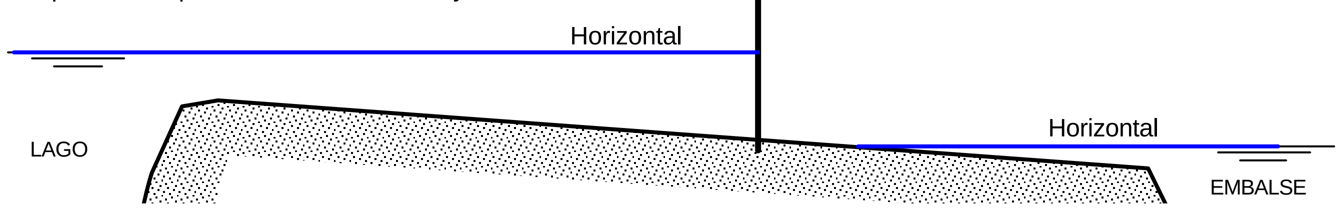
CI41A – HIDRÁULICA

SOLUCIÓN AUXILIAR 7

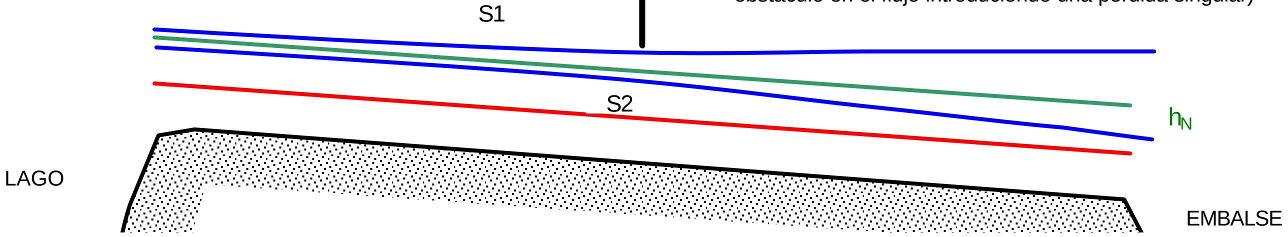
PROBLEMA 1.-

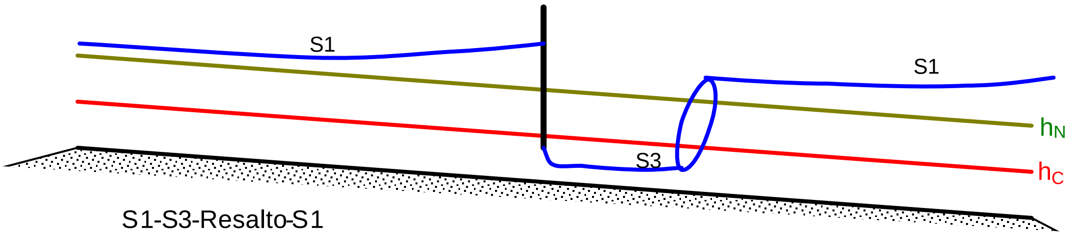
Compuerta completamente cerrada, PS y PF :

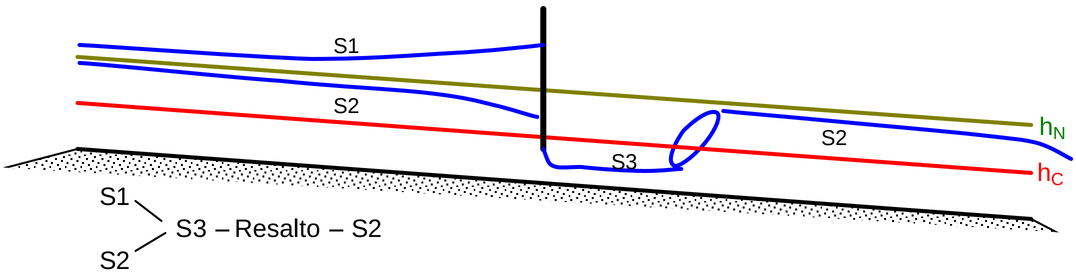


i.- PENDIENTE SUAVE

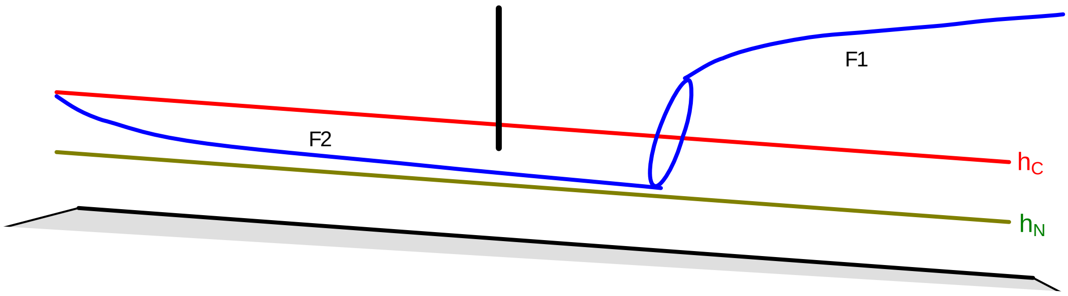
COMPUERTA NO CONTROLA.
(Compuerta totalmente abierta o parcialmente abierta, de tal manera que no genera un torrente. Actúa sólo como un obstáculo en el flujo introduciendo una pérdida singular)



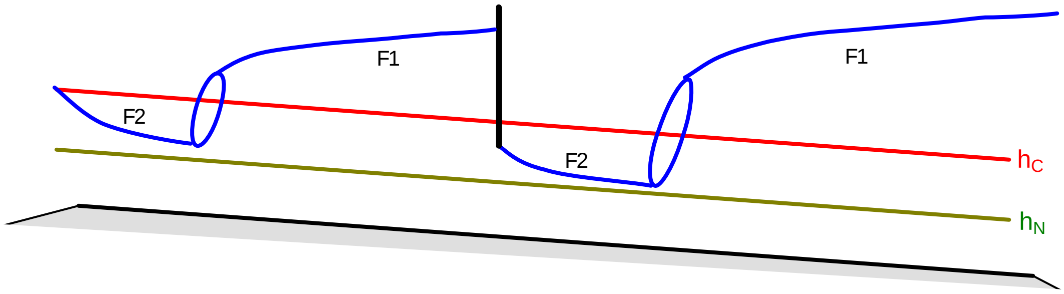




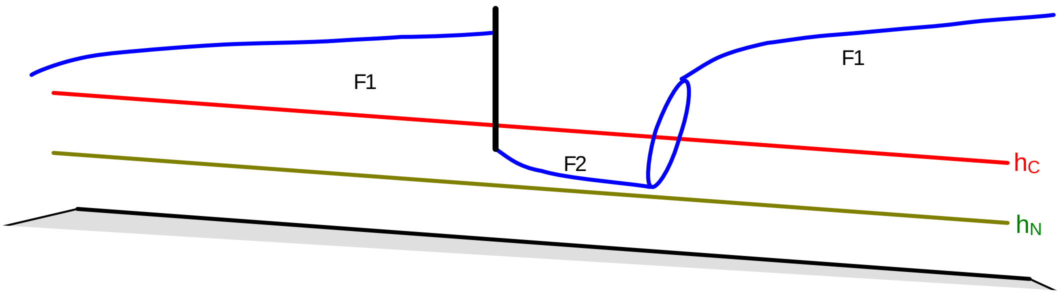
ii.- PENDIENTE FUERTE



F2 – Resalto – F1



F2 – Resalto – F1 – F2 – Resalto – F1



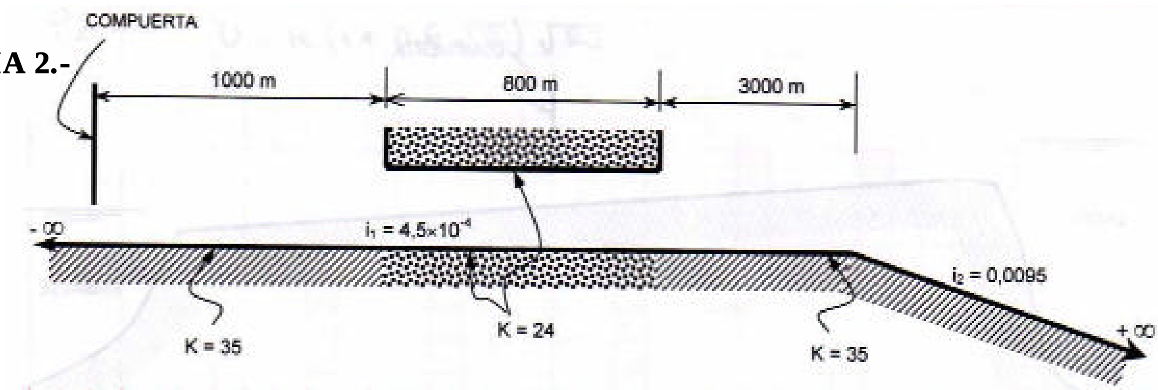
F1 – F2 – Resalto – F1

La condición que el embalse controla reduce el número de los posibles ejes hidráulicos que pueden generarse, tanto para pendiente suave como para pendiente fuerte.

CI41A – HIDRÁULICA

SOLUCIÓN AUXILIAR 7

PROBLEMA 2.-



Altura crítica: $h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} = \left(\frac{1}{g}\left(\frac{Q}{b}\right)^2\right)^{1/3} = \left(\frac{3.5^2}{9.8}\right)^{1/3}$

$\underline{h_c = 1.077 \text{ m.}}$

Altura normal:

Koechlin: $U = K\left(1 + 0.6\sqrt{R}\right)\sqrt{RJ}$

$U = \frac{Q}{bh}$ $\quad R = \frac{bh}{2h+b}$ $\quad J = i$

$$\frac{Q}{bh} = K\left(1 + 0.6\sqrt{\frac{bh}{2h+b}}\right)\sqrt{i\,\frac{bh}{2h+b}}$$

$$\frac{Q}{bK\sqrt{i}} = h\left(1 + 0.6\sqrt{\frac{bh}{2h+b}}\right)\sqrt{\frac{bh}{2h+b}}$$

Tramo con $i_1 = 4.5 \times 10^{-4}$ $\quad K = 35$

$$\frac{7}{2 \cdot 35 \cdot \sqrt{4.5 \times 10^{-4}}} = 4.714 = h\left(1 + 0.6\sqrt{\frac{h}{h+1}}\right)\sqrt{\frac{h}{h+1}}$$

h :	3.0	3.5	3.45	3.49	3.495	
f(h):	3.948	4.720	4.642	4.705	4.712	← $\underline{h_{N_1} = 3.495 \text{ m}}$

Tramo con $i_2 = 0.0095$ $\quad K = 35$

$$\frac{Q}{bK\sqrt{i}} = \frac{7}{2 \cdot 35 \cdot \sqrt{0.0095}} = 1.026$$

h :	1.5	1.0	1.01	1.015	1.014	
f(h) :	1.702	1.007	1.020	1.027	1.026 ✓	$\underline{h_{N_2} = 1{,}014 \text{ m}}$

Tramo en acueducto: $i_1 = 4.5 \times 10^{-4}$, $K = 24$.

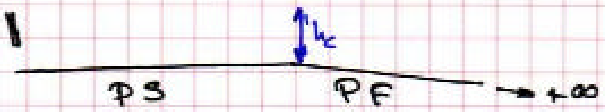
Como $K_{ACUED} = 24 < K_{CANAL} = 35 \Rightarrow h_{N\,ACUED} > h_{N1}$.

Pero $h_{N1} = 3{,}495$ m $> \left(b + \frac{b}{2}\right) = 3$ m (altura del acueducto) $\Rightarrow$ No hay altura normal en el acueducto para estas condiciones de i y K.

Tipos de pendiente:

i_1 : $h_{N1} = 3.495 > h_c = 1.077 \Rightarrow$ Pendiente Suave

i_2 : $h_{N2} = 1.014 < h_c = 1.077 \Rightarrow$ Pendiente Fuerte



Para comenzar el cálculo del eje hidráulico supongamos crisis en el cambio de pendiente: Se debe tener un perfil S2 hacia aguas arriba de h_c y un F2 hacia aguas abajo

EJE HIDRAULICO DEL TORRENTE EN EL TRAMO CON PENDIENTE FUERTE:

h	A	U	E	J	ΔE	$\bar{J}$	$i-\bar{J}$	Δx	x
1.077	2.154	3.250	1.6158	0.00811					0
1.050	2.100	3.333	1.6169	0.00864	0.0011	8.37×10^{-3}	1.13×10^{-3}	0.945	0.945
1.020	2.040	3.431	1.6207	0.00928	0.0038	8.96×10^{-3}	5.42×10^{-4}	7.085	8.030
1.0141	2.028	3.452	1.6219	0.00942	0.0011	9.35×10^{-3}	1.49×10^{-4}	7.565	15.596

(El eje hidráulico se acerca rápidamente a la altura normal ya que h_c y h_{N2} están muy próximas).

$$U = \frac{Q}{bh} \qquad J = \frac{U^2}{K^2 (1 + 0.6\sqrt{R})^2 R} \qquad R = \frac{bh}{b + 2h}$$

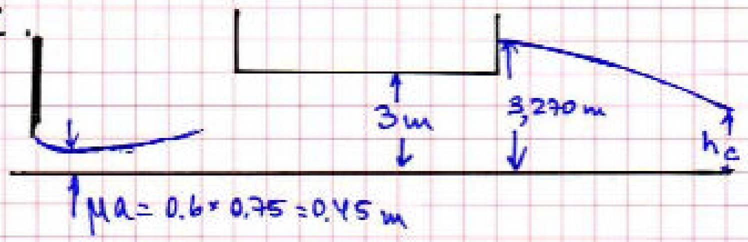
$$E = h + \frac{U^2}{2g}$$

EJE HIDRÁULICO DEL RIO EN EL TRAMO CON PENDIENTE SUAVE:

TRAMO ENTRE EL ACUEDUCTO Y EL CAMBIO DE PENDIENTE:

h	A	U	E	J	ΔE	$\bar{J}$	$i-\bar{J}$	Δx	x
1.077	2.154	3.250	1.6158	0.00811					0
1.100	2.200	3.182	1.6165	0.00769	0.0007	7.90×10^{-3}	-7.45×10^{-3}	-0.094	-0.094
1.200	2.400	2.917	1.6346	0.00621	0.0176	6.95×10^{-3}	-6.50	-2.692	-2,786
1.500	3.000	2.333	1.7778	0.00361	0.1438	4.91×10^{-3}	-4.46	-32.231	-35,017
1.750	3.500	2.000	1.9541	0.00250	0.1763	3.06×10^{-3}	-2.61	-67.627	-102,6
2.000	4.000	1.750	2.1563	0.00183	0.2022	2.17×10^{-3}	-1.72	-117.86	-220,5
2.250	4.500	1.556	2.3735	0.00139	0.2172	1.61×10^{-3}	-1.16	-187,26	-407,8
2.500	5.000	1.400	2.6000	0.00109	0.2265	1.24×10^{-3}	-7.92×10^{-4}	-286,12	-693,9
2.750	5.500	1.273	2.8326	0.00088	0.2326	9.86×10^{-4}	-5,36	-434,2	-1128,1
3.000	6.000	1.167	3.0694	0.00072	0.2368	8.01×10^{-4}	-3,51	-674,98	-1803,1
3.270	6.540	1.070	3.3284	0.00060	0.2590	6.59×10^{-4}	-2,09	-1239,6	-3042,7

La altura del río aguas abajo del acueducto es mayor que la altura del acueducto (3,270 > 3,0 m). Luego el acueducto está en presión.



Aguas abajo de la compuerta puede desarrollarse un torrente, el que ensamblará con el río de aguas abajo mediante un resalto, el que podría ubicarse entre la compuerta y el acueducto, dentro del acueducto (resalto en presión) o entre el acueducto y el cambio de pendiente.

El torrente tiene un perfil S1 (se acerca a la altura crítica hacia aguas abajo). Luego, la máxima momenta del torrente será con $h = \mu a$.

Momenta del torrente : $M_{\mu a} = \frac{1}{2}(\mu a)^2 + \frac{q^2}{g \mu a}$

$$M_{\mu a} = \frac{0.45^2}{2} + \frac{3,5^2}{9,8 \times 0.45} = 2,879 \ m^2$$

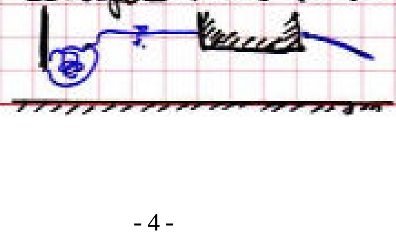
Desde el punto de vista del río, la momenta va creciendo, por tener un perfil S2 (se aproxima a h_n) y, en el acueducto, debido a la fricción, la presión aumenta hacia aguas arriba. Luego, el valor de la momenta calculada con $h = 3,270$ m puede darnos un indicio de dónde se ubicará el resalto (aguas arriba o aguas abajo del punto con $h = 3,270$ m)

$$M_h = \frac{h^2}{2} + \frac{q^2}{g h} = \frac{3,270^2}{2} + \frac{3,5^2}{9,8 \times 3,27} = 5,729 \ m^2$$

$M_{\mu a} < M_h$: o sea, el resalto debe ubicarse aguas arriba del punto con $h = 3,270$ m.

Además la Momenta del río AUMENTA hacia aguas arriba, o sea la momenta del río es siempre mayor que la MAXIMA momenta que puede tener el torrente ⇒ NUNCA se igualarán las momentas ⇒ se tendrá un resalto ahogado.

La situación es:



Consecuencia de lo anterior es que el acueducto siempre estará en presión. Calculemos la altura del flujo a la entrada del acueducto

$$B_A = B_B + JL$$

$$E_A + z_A = E_B + z_B + JL$$

$$E_A = E_B + z_B - z_A + JL$$

$$E_A = E_B - \underbrace{(z_A - z_B)}_{i_1 L} + JL$$

$$\therefore \quad E_A = E_B + (J - i_1)L$$

$h_B = 3.270$ m $\quad E_B = 3.328$ m (de la tabla del E.H.)

$$A = b^2 + \frac{1}{2}\pi\frac{b^2}{4} = 4 + \frac{\pi}{2} = 5.571 \text{ m}^2$$

$$\chi = 3b + \frac{1}{2}\pi b = 9.142 \text{ m}$$

$$R = 0.609 \text{ m}$$

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{7}{5.571} = 1.257 \text{ m}$$

$$J = \frac{U^2}{K^2(1 + 0.6\sqrt{R})^2 R} = \frac{1.257^2}{24^2(1 + 0.6\sqrt{0.609})^2\, 0.609} = 0.00309$$

$$E_A = 3.328 + (0.00309 - 4.5 \times 10^{-4})\, 800 = 4.64 \text{ m.}$$

$$E_A = h_A + \frac{q^2}{2g\, h_A^2} = h_A + \frac{3.5^2}{19.6\, h_A^2} = h_A + \frac{0.625}{h_A^2}$$

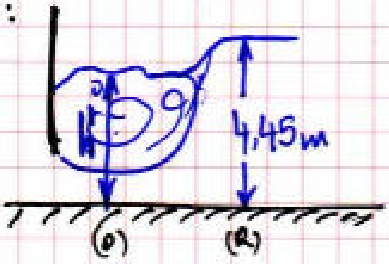
$$h_A = 4.64 - \frac{0.625}{h_A^2} \quad : \qquad h_A : 4.6 - 4.61 - 4.611$$

$$\underline{h_A = 4.611 \text{ m}}$$

EJE HIDRAULICO DEL RÍO ENTRE LA COMPUERTA Y EL ACUEDUCTO

h	A	V	E	J	ΔE	$\bar{J}$	$i-\bar{J}$	Δx	x
4.611	9.222	0.759	4.640	$2{,}79 \times 10^{-4}$					0
4.600	9.200	0.761	4.630	2,81	-0.0109	$2{,}80 \times 10^{-4}$	$1{,}70 \times 10^{-4}$	-63,8	-63,8
4.550	9.100	0.769	4.580	2,87	-0.0493	2,84	1.66	-299,1	-360,9
4.500	9.000	0.778	4.530	2,94	-0.0493	2,91	1,59	-309,8	-690,8
4.450	8,900	0.787	4.482	3,02	-0.0493	2,98	1.52	-324,2	-995,0

La situación es:



Calculemos h'

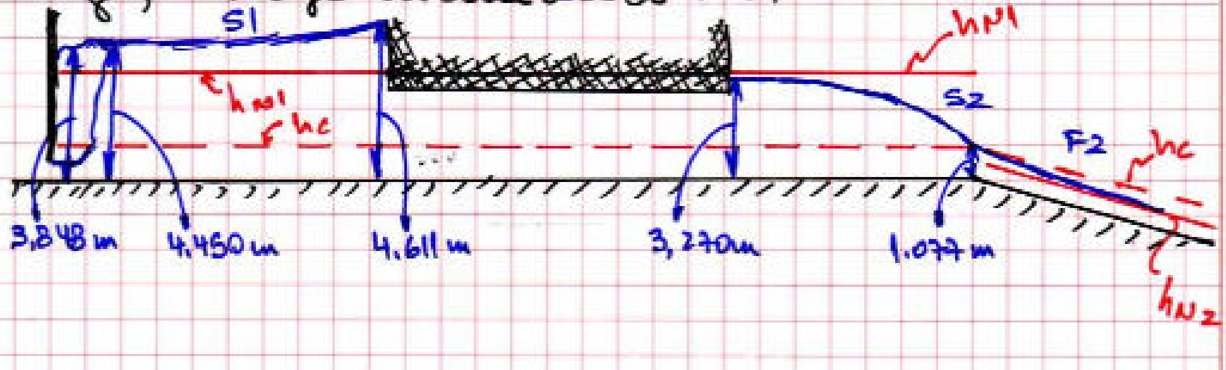
$$M_0 = M_R$$

$$\frac{1}{2} h'^2 + \frac{q^2}{g \mu a} = \frac{1}{2} h_R^2 + \frac{q^2}{g h_R}$$

$$\frac{1}{2} h'^2 + \frac{3{,}5^2}{9{,}8 \times 0.6 \times 0.75} = \frac{1}{2} 4{,}45^2 + \frac{3{,}5^2}{9{,}8 \times 4{,}45}$$

$$\frac{1}{2} h'^2 + 2{,}778 = 10{,}182 \Rightarrow \underline{h' = 3{,}848 \text{ m}}$$

Luego, el eje hidráulico es:



PAUTA AUX #7 CI41A

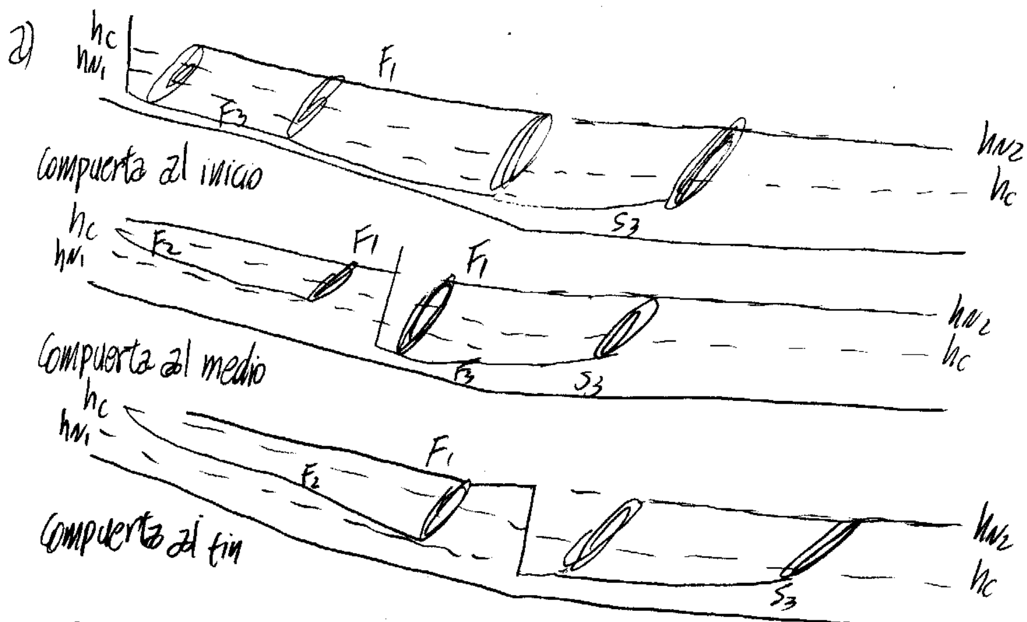
P2 Primero se calculan las alturas crítica y normales

$$q = \frac{Q}{b} = 4\ [m^3/s/m] \ ; \ h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} = \left(\frac{4^2}{9{,}8}\right)^{1/3} = 1{,}178\ [m]$$

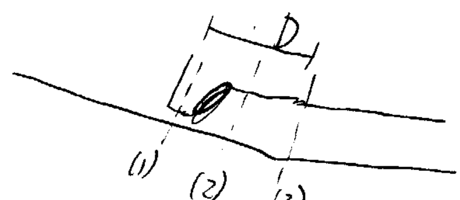
$$\frac{Qn}{\sqrt{i}} = h_N b \left(\frac{h_N b}{2h_N + b}\right)^{2/3} \Rightarrow h_{N_1} = 1{,}048 < h_c \Rightarrow P.F$$

$$h_{N_2} = 3{,}132 > h_c \Rightarrow P.S.$$

a)



b) Para que haya resalto al pie,



$h_1 = \mu a = 0{,}611 \cdot 0{,}9 = 0{,}55\ [m]$

$h_3 = h_{N_2} = 3{,}132$

Belanger: $h_2 = \frac{h_1}{2}\left[\sqrt{1 + 8 Fr_1^2} - 1\right] = \frac{h_1}{2}\left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{Q^2}{b^2 g h_1^3}\right)} - 1\right] = 2{,}177\ [m]$

Eje hidráulico: F_1: desde $h_2 = 2{,}177$ hasta $h_3 = 3{,}132$; $\Delta X = \frac{E_1 - E_2}{\bar{J} - i}$

2 Pasos: De 3,132 a 2,655 : $h = 3{,}132 \Rightarrow E = 3{,}215 \Rightarrow J = 0{,}00046$

$h = 2{,}655 \Rightarrow E = 2{,}771 \Rightarrow J = 0{,}00069 \Rightarrow \bar{J} = 0{,}00055 \Rightarrow \Delta x = \frac{3{,}215 - 2{,}771}{0{,}00055 - 0{,}008} = -59{,}6\ [m]$

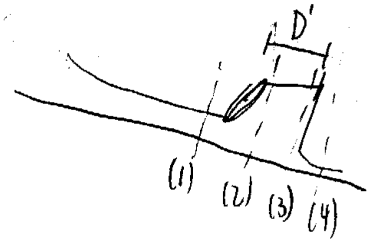
De 2,655 a 2,177: $h = 2{,}177 \Rightarrow E = 2{,}349\ [m] \Rightarrow J = 0{,}00114 \Rightarrow \bar{J} = 0{,}00092$ 2/2

$$\Rightarrow \Delta X = \frac{2{,}771 - 2{,}349}{0{,}00092 - 0{,}008} = -59{,}6\ [m] \Rightarrow \Delta X = 2 \cdot 59{,}6 = 119{,}2\ [m]$$

A eso hay que agregar la longitud del resalto

$$L_r = 18 h_c - 20 h_1 = 18 \cdot 1{,}178 - 20 \cdot 0{,}55 = 10{,}2\ [m] \Rightarrow D = 119{,}2 + 10{,}2 = 129{,}4\ [m]$$

c)



$h_1 = h_{n1} = 1{,}048\ [m]$

$$E_3 = E_4 \ ; \ E_4 = 0{,}55 + \frac{4^2}{2 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}55^2} = 3{,}249 \Rightarrow h_3 = 3{,}168\ [m]$$

$$\text{Belánger: } h_2 = \frac{h_1}{2}\left[\sqrt{1 + 8\left(\frac{Q^2}{b^2 g h_1^3}\right)} - 1\right] = 1{,}317\ [m]$$

Cálculo del eje: 2 Pasos. De 3,168 a 2,245: $h = 3{,}168 \Rightarrow J = 0{,}00045$

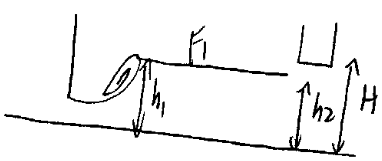
$$h = 2{,}245 \Rightarrow E = 2{,}407\ [m];\ J = 0{,}00106 \Rightarrow \bar{J} = 0{,}00076 \Rightarrow \Delta X = \frac{3{,}249 - 2{,}407}{0{,}00076 - 0{,}008} = -186{,}4\ [m]$$

De 2,245 a 1,317. $h = 1{,}317 \Rightarrow E = 1{,}788 \ ; \ J = 0{,}00428$

$$\Rightarrow \bar{J} = 0{,}00267 \ ; \ \Delta X = \frac{2{,}407 - 1{,}788}{0{,}00267 - 0{,}008} = -116{,}1\ [m]$$

$$L_r = 18 \cdot 1{,}178 - 20 \cdot 1{,}048 = 0{,}2 \Rightarrow D' = 116{,}1 + 186{,}4 + 0{,}2 = 302{,}7\ [m]$$

d)



$$\Delta X = L - L_r \ ; \ \Delta X = \frac{E_1 - E_2}{\bar{J} - i} \ ; \ L_r = 10{,}2\ [m]$$

Ya teníamos $h_1 = 2{,}177$; $E_1 = 2{,}349\ [m]$, $J = 0{,}00114$

$$E_2 = h_2 + \frac{q^2}{2 g h_2^2} \ ; \ J_2 = \left(\frac{Qn}{b h_2 \left(\frac{b h_2}{b + 2h_2}\right)^{2/3}}\right)^2 \ ; \ \Delta X = \frac{2{,}349 - E_2}{\bar{J} - 0{,}008} = 55{,}8\ [m]$$

h_2	E_2	J_2	$\bar{J}$	ΔX
2,6	2,721	0,00073	0,00094	52,6
2,7	2,812	0,00067	0,00091	65,3
2,62	2,739	0,00072	0,00093	55,16
2,625	2,743	0,00071	0,00093	55,72

$\Rightarrow h_2 = 2{,}625$; revancha: $r = 0{,}2 \cdot 2{,}625 = 0{,}525$

$\Rightarrow H = h_2 + r = 3{,}15\ [m]$