

LA PRESENTACIÓN QUE SE ADJUNTA FUE ELABORADA POR EL ESTUDIANTE DE DOCTORADO D. LUIS FELIPE PRADA SARMIENTO, A PARTIR DE LA INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL PROF. LUIS G. CASTILLO ELSDIÉ, EN LA ASIGNATURA "ANÁLISIS AVANZADO DE OBRAS HIDRÁULICAS - ESTUDIOS DE CASO", CORRESPONDIENTE AL PROGRAMA DE DOCTORADO 2004-2005, EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA, ESPAÑA.

Proyecto de La Viña (Islas Canarias)

I. Diseño de las Estructuras Hidráulicas

Análisis Avanzado de Obras Hidráulicas
Junio de 2005



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



1

Contenido

1. Sistema de Captación
 1. Descripción
 2. Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación
 3. Cámara desarenadora
 4. Longitud de transición entre sección de control y desarenador
 5. Aliviadero en abanico hacia la balsa



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



2

Contenido

2. Encauzamiento Barranco Las Angustias
3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa
 1. Solución con rápida de hormigón
 2. Solución mediante doble tubo
4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
 1. Tramo único: llenado variable
 2. Tramo único: número variable de bombas
 3. Tramo único: caudal de bombeo variable



Contenido

4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
 4. Dos tramos: llenado variable
 5. Dos tramos: número variable de bombas
 6. Dos tramos: caudal de bombeo variable
 7. Selección Alternativa de Diseño



Contenido

1. Sistema de Captación

1. Descripción
2. Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación
3. Cámara desarenadora
4. Longitud de transición entre sección de control y desarenador
5. Aliviadero en abanico hacia la balsa



1. Sistema de Captación

- Captación como río de montaña con rejillas de fondo \Rightarrow toma tirolesa o caucasiana.
- Amplia experiencia en Alemania, Suiza, Rusia, algunos países latinoamericanos.
- Obras de fácil construcción, económicas, requieren poca área en terrenos difíciles.
- Permite captar gran rango de caudales.
- Su ubicación espacial no es tan exigente como en derivaciones.



1. Sistema de Captación

- Guía de diseño: TIWAG (Tiroler Wasserkraftwerke AG) para dimensionar la captación (reja, rejilla, canal de recolección interior y transversal, y la sección de control)



1. Sistema de Captación

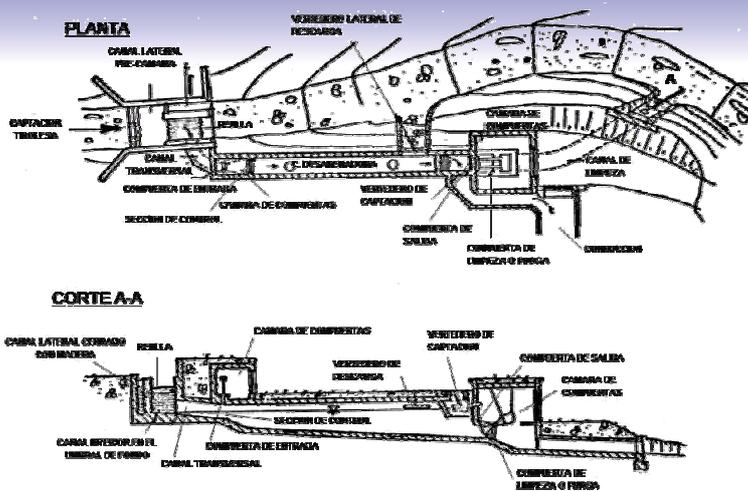


FIGURA Nº 1: ESQUEMA DE LA CAPTACION



Contenido

1. Sistema de Captación

1. Descripción

2. Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación
3. Cámara desarenadora
4. Longitud de transición entre sección de control y desarenador
5. Aliviadero en abanico hacia la balsa



1.1 Descripción

- Entrada del agua por la parte superior de un vertedero de fondo (umbral de fondo), en donde está la rejilla.
- Antes del vertedero hay una precámara que permite distribuir uniformemente el flujo.
- Hay un canal lateral de purga que permite desviar el agua captada para hacer reparaciones en las rejillas del umbral.

Fig 1



1.1 Descripción

- El agua luego de pasar por la rejilla cae en el canal de recolección, ubicado en el interior del umbral y fluye hacia el canal lateral donde hay una sección de control.
- Dicha sección regula la entrada de agua al desarenador, controlando la captación real del agua hacia la conducción.
- En la sección de control se ubica una compuerta rectangular de regulación.

Fig 1



1.1 Descripción

- En caso de una creciente, el caudal captado no se incrementará más del 10% con la operación de la compuerta. Además se cuenta con un vertedero lateral en uno de los cajeros del desarenador para regresar los excesos de agua al cauce.
- En el desarenador de doble cámara vertical se depositará el material sólido relativamente grueso y se clasificará el material fino que transporta el agua.

Fig 1



1.1 Descripción

- La limpieza del material sedimentado se realiza de forma automática y continua con un caudal de hasta 3 m³/s.
- En la solera de la cámara superior del desarenador se dejan 14 perforaciones cuadradas de 0.2x0.2 m² c/u para que el material sedimentado se desagüe, ayudado de los chorros de lavado de 0.22 m³/s hacia la cámara inferior.

Fig 1



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



13

1.1 Descripción

- El material lavado se evacua por medio de un canal de purga y se reintegra al cauce del río.
- Un vertedero de captación en abanico se encaja en un arco de curva circular, ubicado a la salida de la cámara desarenadora.
- Se dispone de una pantalla que controla los niveles entre el vertedero de desagüe y el de captación.
- En el muro final de la cámara del desarenador se ubica la compuerta de purga. Adicionalmente hay una compuerta plana aguas arriba de la de purga para facilitar su reparación sin suspender el flujo.

Fig 1



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



14

Contenido

1. Sistema de Captación

1. Descripción
2. Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación
3. Cámara desarenadora
4. Longitud de transición entre sección de control y desarenador
5. Aliviadero en abanico hacia la balsa



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

1.2.1 Reja de protección y rejilla de entrada.

- Reja de perfiles de acero cuadrados de $0.3 \times 0.3 \text{ m}^2$, con espaciamiento entre barrotes de 0.50 m.
- Se asume Y_c inmediatamente antes y sobre el umbral de fondo (Frank, 1956) – esto se cumple para la toma tirolesa con precámara.



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

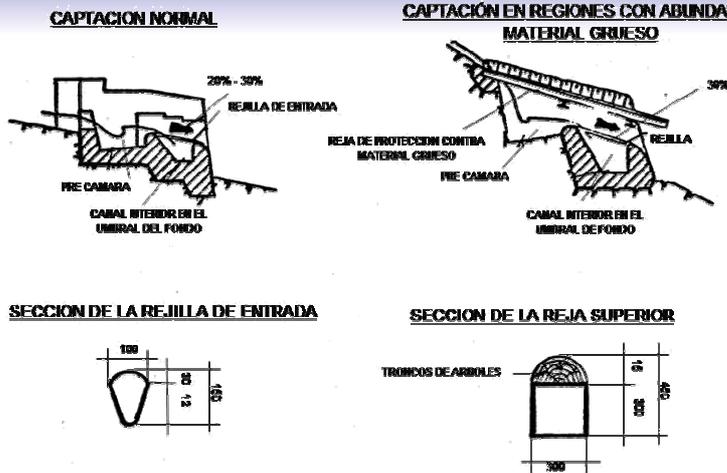


FIGURA N° 2: CORTES DE LA CAPTACION NORMAL Y LA CAPTACION EN REGIONES CON ABUNDANTE MATERIAL GRUESO

Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elstidí



17

1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

1.2.1 Reja de protección y rejilla de entrada.

- Caudal unitario q y Y_c se hallan con base en el caudal total Q y en el ancho de la rejilla B . La profundidad inicial Y_0 (al comienzo de la rejilla) es una variable dependiente de Y_c y de C , que es a su vez función de la pendiente de la rejilla, α .
- Relación entre C y α se determina por medio de Bernoulli para la energía al inicio de la rejilla, suponiendo bajas pendientes de la rejilla \rightarrow distribución hidrostática de presiones; y por medio de las ecuaciones para Y_0 y Y_c .

Fig 2



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elstidí



18

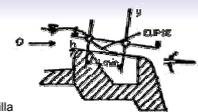
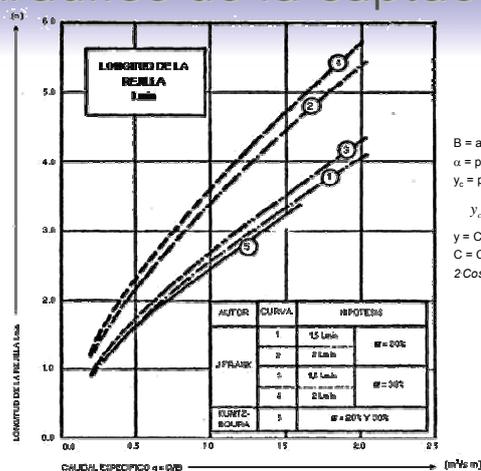
1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

1.2.1 Reja de protección y rejilla de entrada.

- Se representa la superficie libre del agua sobre la rejilla como una elipse, cuyos ejes constituyen Y_0 y la longitud mínima L_{min} de la rejilla.
- Se pueden calcular no sólo los niveles de la superficie del agua sobre la rejilla sino también L_{min} requerida. Los resultados de este modelo se presentan en la Figura 3.



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación



B = ancho de la rejilla
 α = pendiente de la rejilla
 y_c = profundidad crítica

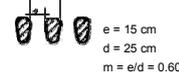
$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot B^2}}$$

$$y = C y_c$$

C = C(α) según ecuación:

$$2 \cos(\alpha) C^3 - 3 C^2 + 1 = 0$$

$$L_{min} = \frac{0.846}{\mu \cdot m \cdot \cos^{1.5}(\alpha \sqrt{C})} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2}}$$



e = 15 cm
d = 25 cm
m = e/d = 0.60

μ = coeficiente de descarga = 0.90

FIGURA Nº 3: DISEÑO DE LA LONGITUD DE LA REJILLA



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

1.2.1 Reja de protección y rejilla de entrada.

- Se debe prever que la captación líquida se garantice aún con un taponamiento parcial de la rejilla.
- Se recomienda construir la rejilla en una longitud mayor – de 1.5 a 2 veces – que la longitud calculada. La pendiente de la rejilla puede variar entre el 20% al 30%.
- Espaciamiento entre barrotes constante e igual a 150 mm

Fig 3



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

1.2.1 Reja de protección y rejilla de entrada.

Datos de diseño:

$$Q = 13 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$B = 13 \text{ m (ancho de rejilla);}$$

$$q = Q/B = 1 \text{ m}^2/\text{s};$$

$$\alpha = 30^\circ \text{ (inclinación);}$$

$$e = 0.15 \text{ m (espaciamiento de rejilla);}$$

$$d = 0.25 \text{ m (espaciamiento + espesor de rejilla);}$$

$$d - e = 0,10 \text{ m (espesor de rejilla);}$$

$$m = e/d = 0.6 \text{ (área real de flujo/área total de rejilla);}$$

$$\mu = 0.90 \text{ (coeficiente de contracción de la rejilla).}$$

$L_{min} = 3.70 \text{ m (Fig 3)}$

Fig 3



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

1.2.2 Canal de recolección – Umbral de fondo.

- Se debe garantizar una profundidad adecuada en el canal para no perder parte del volumen a captar.
- Se calcula q' (caudal específico que pasa por la rejilla) a partir del caudal total Q , ancho de la rejilla B , relación entre superficie bruta y neta m , y coeficiente de contracción μ .



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

1.2.2 Canal de recolección – Umbral de fondo.

- Con Bernoulli se define la energía mínima (H_{\min}) para el chorro que cae en el canal, manteniendo la profundidad crítica en el umbral.
- Pérdidas de energía para umbrales con pendiente 3:2 $\approx 0.10(v^2/2g)$
- Solucionando Bernoulli y Ec. Impulso se puede encontrar h_0 (profundidad del canal interior)



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

1.2.2 Canal de recolección – Umbral de fondo.

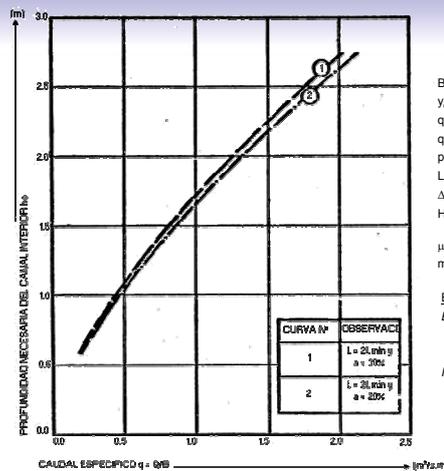
- Figura 4: cálculo de h_0 a partir de curvas para el proyecto Kaunertal, rejillas con pendiente entre 20%

Datos de diseño: $h_0 = 1.70 \text{ m (Fig 4)}$

$Q = 13 \text{ m}^3/\text{s}$ $B = 13 \text{ m}$ $q = 1 \text{ m}^2/\text{s}$
 $L = 2L_{min} = 3.70 \text{ m}$
 $\alpha = 30^\circ$ $m = 0.60$ $\mu = 0.90$



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación



B = Ancho de la rejilla
 y_c = profundidad crítica
 q = caudal específico
 q' = caudal específico afectado por la rejilla = $Q/(\mu m B)$
 L = longitud real de la rejilla
 $\Delta h = L \cdot \sin \alpha$
 H_{min} = energía mínima = $1.5 y_c$
 $\mu = 0.90$
 $m = 0.60$



ECUACIONES DE CALCULO

Bernoulli:

$$H_{min} + \Delta h + h_0 = 1.1 \cdot \frac{q^2}{2g} \cdot \frac{1}{h_1^2} + h_1$$

Impulso:

$$\frac{(q')^2}{g} \cdot \frac{1}{h_1} + 0.5 \cdot h_1^2 = 0.5 \cdot h_0^2$$

FIGURA Nº 4: DISEÑO DE LA PROFUNDIDAD MINIMA DEL CANAL INTERIOR AL UMBRAL DE FONDO



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

1.2.3 Canal transversal colector/sección de control

- Conduce el agua desde el canal interior hasta el desarenador. Sección transversal rectangular y alineamiento curvo en planta (radio curvatura $\geq 5 \cdot \text{base canal}$).
- Sección de control entre canal interior y canal transversal. Pendiente fuerte para arrastrar sedimentos.
- Flujo supercrítico en el canal interior.



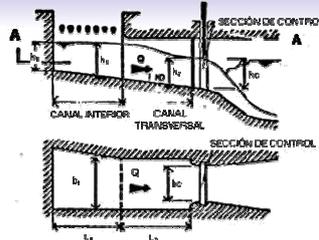
1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

1.2.3 Canal transversal colector/sección de control

- Con el diagrama de Henderson se define b_c para la sección de control, a partir del ancho conocido del canal transversal b_1 y del número de Froude (>1) en dicha sección.
- Froude se calcula a partir de la profundidad inicial del agua en el canal + diferencia de altura por la pendiente del fondo (se desprecian pérdidas por fricción).



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación



De las ecuaciones (1), (2), (3) y (5) con $Fr_2^{2/3} = A$

Se obtiene:

$$A^3 - 2\sqrt[3]{g} \left[\sqrt[3]{\left(\frac{b_1}{Q}\right)^2} (h_0 + 0.1 \cdot L_1 + 0.1 \cdot L_2) + \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{b_1}\right)^4} \frac{1}{2g(h_0 + 0.1 \cdot L_1)^2} \right] \cdot A + 2 = 0$$

RECOMENDACIÓN:

Con los valores de b_1 y Fr_2 se puede determinar el valor bc del diagrama adjunto y $h_c = 0.80 \cdot t_c$.

$$\text{Bernoulli: } h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_f \quad (1)$$

$$\text{Hipótesis: } h_1 = h_0 + 0.1 \cdot L_1 \quad (2)$$

$$\Delta h = 0.1 \cdot L_2 \quad (3)$$

$$h_f = 0, \text{ pérdidas por fricción despreciables}$$

$$\text{Froude: } Fr_2^2 = \frac{Q^2}{g \cdot b_1^2 \cdot h_2^3} \quad (4)$$

$$\text{Y su equivalente } h_2 = \frac{1}{g^{1/3}} \cdot \left(\frac{Q}{b_1}\right)^{2/3} \cdot \frac{1}{Fr_2^{2/3}} \quad (5)$$

DIAGRAMA DE HENDERSON ($bc/b_1 = f(Fr_2)$)

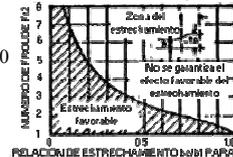


FIGURA N°5: **DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN DE CONTROL PARA SOLERA INCLINADA DEL CANAL INTERIOR Y DEL CANAL TRANSVERSAL**



1.2 Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación

1.2.3 Canal transversal colector/sección de control

- Dimensiones principales del canal:

$$b_1 = L \cdot \cos(\alpha) = 3.70 \cdot \cos(30) = 3.20m$$

$$h_1 = h_0 + i \cdot B = 1.70 + 0.10 \cdot 0.13 = 3.00m$$

$$\text{Si } Fr_2 = 2; \quad \frac{b_c}{b_1} = 0.63$$

→ $b_c = 2.00m$. Estrechamiento favorable.

$$h_2 = \frac{1}{g^{1/3}} \left(\frac{Q}{b_1}\right)^{2/3} \cdot \frac{1}{Fr_2^{2/3}} = 0.75m$$

$$t_c = \sqrt[3]{\frac{(Q/b_c)^2}{g}} = 1.63m (Y_{crítico})$$

Fig 5



Contenido

1. Sistema de Captación

1. Descripción
2. Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación
3. Cámara desarenadora
4. Longitud de transición entre sección de control y desarenador
5. Aliviadero en abanico hacia la balsa



1.3 Cámara Desarenadora

- El agua que pasa por la sección de control no debe alterar las condiciones del flujo que permiten la sedimentación en la cámara.
- Para asegurar lo anterior, se diseña una grada a la entrada de la cámara, cuya altura depende de los niveles de la superficie del agua en la cámara.

Fig 6



1.3 Cámara Desarenadora

- El nivel requerido de la superficie libre (h_u) y la altura de la grada (S) se calculan con la ecuación de Bernoulli y de Momentum.
- Según el USBR (Bradley & Peterka, 1959), el número de Froude del chorro a la entrada debe estar entre 4.5 y 9.0 para lograr un resalto hidráulico estable con buena disipación de energía.

Fig 6

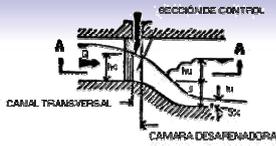


1.3 Cámara Desarenadora

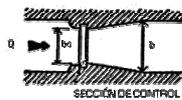
- En la práctica, se define la altura de la grada de manera que la altura del agua en la cámara sea mayor a la altura conjugada para que se genere una onda de embalsamiento controlada aguas abajo.
- Parte del sedimento se deposita después de la grada, contribuyendo a generar un colchón disipador de energía.



1.3 Cámara Desarenadora



CORTE A-A



Bernoulli: $S + h_c(1 + 0.5Fr_0^2) = t_U(1 + 0.5Fr_U^2) + h_v$ (1)

Impulso: $S + h_U = \frac{1}{2 \cdot \cos(\alpha)} \left(\sqrt{\frac{s \cdot Fr_U^2 \cdot \cos^3(\alpha)}{1 - 2 \cdot k \cdot \tan(\alpha)} + 1} - 1 \right) \cdot t_u$ (2)

Froude: $Fr_U^2 = \frac{Q^2}{g \cdot b_c^3 \cdot t_U^3}$ (3)

$h_v = \xi \cdot 0.5 \cdot Fr_U^2 \cdot t_U$ (4)

Hipótesis: $\xi = 0.10$
 $b \cong 3.0 \cdot b_c$ $t_U = (1/3 \cdot Fr_U)^{2/3} \cdot t_c$
 $\tan(\alpha) = 0.05$ $k \cong 3.0$
 $h_c = 0.8 \cdot t_c$ y $Fr_c^2 = \frac{1}{0.8^3}$

De las ecuaciones (1), (2), (3) y (4):
 $h_U = (1/3 \cdot Fr_U)^{2/3} \left[\frac{1}{1.9975} \left(\sqrt{11.3658 \cdot Fr_U^2 + 1} - 1 \right) - 0.55 \cdot Fr_U^2 + 3.2001 \cdot Fr_U^{2/3} \right] \cdot t_c$

Donde t_c es la profundidad crítica con respecto a la sección de control.

Resalto hidráulico establece según el USBR

$Fr_U \geq 4.5, h_U \leq 0.70 \cdot t_c, s > 0.56 \cdot t_c$



FIGURA N° 6: NIVEL NECESARIO DE LA SUPERFICIE DEL AGUA EN LA CAMARA DESARENADORA



1.3 Cámara Desarenadora

- De la Figura 6 se obtiene:

$h_u \leq 0.70 \cdot t_c = 1.14 \text{ m}; \longrightarrow h_u = 1.10 \text{ m}$
 $S \geq 0.56 \cdot t_c \geq 0.91 \text{ m}$

- El valor definitivo de S se obtiene a partir de la cota de lámina del desarenador.
- Para garantizar una buena sedimentación, se requiere que la cámara tenga una sección transversal amplia para lograr bajas velocidades y evitar el “corto circuito hidráulico”

Fig 6



1.3 Cámara Desarenadora

1.3.1 Desarenador TIWAG (Lavado Intermitente)

- Relación altura/ancho de la cámara desarenadora: 1.25/1.00.
- Tamaño mínimo a sedimentar: 0.5 mm.
- Velocidad requerida en la cámara: 0.30 m/s. (velocidad teórica de flotación según Camp)
- Diseño

$$Q=13 \text{ m}^3/\text{s} \quad d_{\min} \geq 0.50 \text{ mm}$$



1.3 Cámara Desarenadora

1.3.1 Desarenador TIWAG (Lavado Intermitente)

- Diseño

$$Q=13 \text{ m}^3/\text{s} \quad d_{\min} \geq 0.50 \text{ mm} \quad v=0.3 \text{ m/s}$$

$$w=0.05 \text{ m/s (Velocidad Sedimentación)}$$

$$h/b=1.25 \quad b=6.0 \text{ m} \quad h=7.22 \text{ m}$$

- Longitud activa de la cámara depende del nivel de turbulencia en la solera.
- Velocidad turbulencia $\approx 4\%$ Vel. Media Flujo.



1.3 Cámara Desarenadora

1.3.1 Desarenador TIWAG (Lavado Intermitente)

- La velocidad media de la cámara debe ser inferior a **diez** veces la velocidad de sedimentación de las partículas cuyo tamaño se quiera sedimentar.
- Se calculó la longitud activa con tres formulaciones distintas, considerando el efecto de la turbulencia.



1.3 Cámara Desarenadora

1.3.1 Desarenador TIWAG (Lavado Intermitente)

- Huber & Schmidt: $L = \frac{h \cdot v}{w - 0.04 \cdot v} = \frac{7.22 \cdot 0.30}{0.05 - 0.04 \cdot 0.30} = 57.00 \text{ m}$

- Velikanov: $L = \left[\frac{\lambda \cdot v (\sqrt{h} - 0.20)}{2.74 \cdot w} \right]^2 = \left[\frac{1.6 \cdot 0.30 (\sqrt{7.22} - 0.20)}{2.74 \cdot 0.05} \right]^2 = 75.93 \text{ m}$

- Sokolov: $L = \frac{h \cdot v}{w - 0.152 \cdot w} = \frac{7.22 \cdot 0.30}{0.05 - 0.152 \cdot 0.05} = 51.10 \text{ m}$

Longitud activa = promedio de los tres valores:

$$L = 61 \text{ m}$$



1.3 Cámara Desarenadora

1.3.2 Desarenador DUFOUR (Lavado Continuo)

- Se usa en barrancos torrenciales en donde se dispone en algunos instantes de caudales mayores a los de captación.
- El lavado de sedimentos se hace al mismo tiempo que la captación (caudal incrementado entre un 10% y 20% del caudal neto captado) con una doble cámara (sedimentación + desagüe y limpieza).



1.3 Cámara Desarenadora

1.3.2 Desarenador DUFOUR (Lavado Continuo)

- Se diseñó una variante del modelo Dufour, incorporando la tipología Bieri en el cual se disponen 14 orificios a tresbolillo de $0.2 \times 0.20 \text{ m}^2$ en la solera de la cámara superior, en sentido normal al flujo.
- Los orificios comunican las dos cámaras y por c/u sale un chorro de alta velocidad (5.4 m/s y $Q=0.216 \text{ m}^3/\text{s}$) con el nivel de funcionamiento normal.



1.3 Cámara Desarenadora

1.3.2 Desarenador DUFOUR (Lavado Continuo)

- El desarenador aquí diseñado opera de forma automática sin requerir obturadores hidráulicos como en la tipología Bieri.
- Relación alto/ancho del desarenador debe estar entre 1.5 y 3.5.



1.3 Cámara Desarenadora

1.3.2 Desarenador DUFOUR (Lavado Continuo)

- Dimensiones:

$Q = 13 \text{ m}^3/\text{s}$ (Caudal total captado, incluye lavado)

$Q_s = 3 \text{ m}^3/\text{s}$ (Caudal de lavado)

$b = 10 \text{ m}$ $h = 4.13 \text{ m}$

$m_s = 0.5$ (Talud superior cámara principal)

$T = 13.34 \text{ m}$ (Espejo de agua)

$m_i = 5$ (Talud inferior cámara principal)

$b_i = 2 \text{ m}$ (Ancho cámara inferior)

$h_i = 0.80 \text{ m}$ (Altura inferior cámara superior)

$hc_i = 2.0 \text{ m}$ (Altura cámara inferior)



1.3 Cámara Desarenadora

1.3.2 Desarenador DUFOR (Lavado Continuo)

- Velocidades medias a la entrada y salida:

$$v_1 = 13 / (10 \cdot 3.33) = 0.39 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 0.30 \text{ m/s}$$

- Longitud activa:

$$L = \frac{h}{2 \cdot w} (v_1 + v_2) - \frac{Q_s}{b \cdot w} = \frac{4.13}{2 \cdot 0.05} (0.39 + 0.30) - \frac{3}{10 \cdot 0.05} = 22.50 \text{ m}$$

- Es necesario incluir en la solera las filas de perforaciones con espaciamiento de 6 m, con lo que se llega a la longitud final adoptada:

$$L = 24 \text{ m}$$



Contenido

1. Sistema de Captación

1. Descripción
2. Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación
3. Cámara desarenadora
4. Longitud de transición entre sección de control y desarenador
5. Aliviadero en abanico hacia la balsa



1.4 Longitud de transición entre sección de control y desarenador

- La comunicación entre la sección de control ($b_c=2.00$ m) se realiza de manera gradual a través de una transición recta cuya longitud mínima es:

$$L_T = \frac{T - b_c}{2 \cdot \tan(\theta)} = \frac{13.34 - 2.00}{2 \cdot \tan(12.5)} = 25.57 \text{ m}$$

- Redondeando:

$$L_T = 26 \text{ m}$$



Contenido

1. Sistema de Captación

1. Descripción
2. Prediseño y dimensionamiento hidráulico de la captación
3. Cámara desarenadora
4. Longitud de transición entre sección de control y desarenador

5. Aliviadero en abanico hacia la balsa



1.5 Aliviadero en abanico

- La carga máxima sobre el aliviadero que conduce hacia la balsa será de 0.25 m, con una velocidad máxima de paso de 1 m/s (evita turbulencias dentro del desarenador).
- Longitud del aliviadero para $Q=10\text{m}^3/\text{s}$:

$$L_v = \frac{Q}{C \cdot H^{3/2}} = \frac{10}{2 \cdot 0.25^{3/2}} = 40 \text{ m}$$



1.5 Aliviadero en abanico

- La longitud del aliviadero es mayor al máximo ancho final del desarenador, por lo cual se decide diseñar un aliviadero en abanico de forma que la longitud se inscriba dentro de un arco de circunferencia.

$$R = \frac{180 \cdot L_v}{\pi \cdot \varphi} \qquad R = \frac{T}{1 - \cos(\varphi)}$$

- Se cumple la siguiente igualdad:

$$\frac{\varphi}{1 - \cos(\varphi)} = \frac{180 \cdot L_v}{\pi \cdot T} = \frac{180 \cdot 40}{3.1416 \cdot 13.34} = 171.80$$



1.5 Aliviadero en abanico

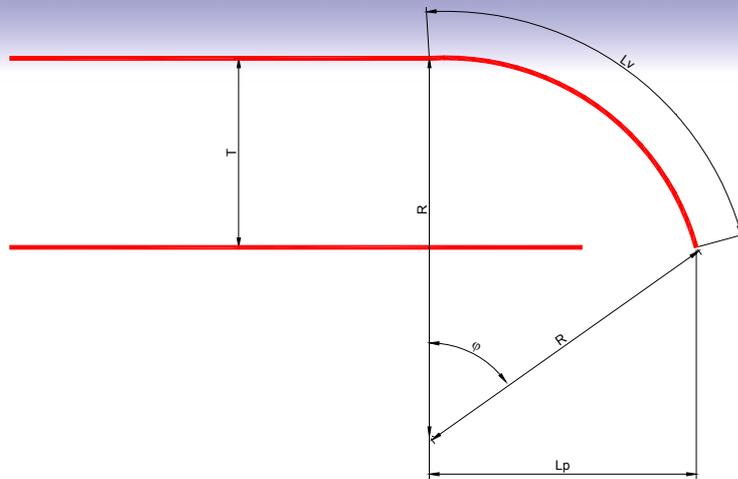


FIGURA N°7: GEOMETRÍA DEL ALIVIADERO EN ABANICO



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



51

1.5 Aliviadero en abanico

- Despejando la incógnita:

$$\varphi = 39.79^\circ$$

- Entonces el radio de circunferencia es:

$$R = \frac{180 \cdot L_v}{\pi \cdot \varphi} = \frac{180 \cdot 40}{\pi \cdot 39.79} = 57.60 \text{ m}$$

- La proyección horizontal será:

$$L_p = R \cdot \sin(\varphi) = 57.60 \cdot \sin(39.79) = 36.86 \text{ m}$$

Fig 7



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



52

Contenido

- 2. Encauzamiento Barranco Las Angustias
- 3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa
 - 1. Solución con rápida de hormigón
 - 2. Solución mediante doble tubo
- 4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
 - 1. Tramo único: llenado variable
 - 2. Tramo único: número variable de bombas
 - 3. Tramo único: caudal de bombeo variable



2. Encauzamiento Barranco Las Angustias

- El encauzamiento se desplaza hacia la derecha con el fin de maximizar el área disponible para la balsa.
- Longitud \approx 680 m. Pendiente = 3.9%
- Cajero izquierdo del encauzamiento se conforma con el talud exterior de la balsa (1.40 H:1.00 V) y con el complejo basal en la margen derecha (talud medio 0.70H :1.00V).
- Ancho de solera = 16.0 m.



2. Encauzamiento Barranco Las Angustias

- El encauzamiento inicia en la parte final de la captación, en donde se desarrolla una transición ($L=70$ m) entre la base del umbral de 57 m de ancho y la sección típica con base de 16 m.
- Caudal de diseño $1000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- El flujo pasa de una condición crítica sobre el umbral ($y_c=3.15$ m) a un régimen supercrítico aguas abajo del tomadero ($y_1=1.11$ m).



2. Encauzamiento Barranco Las Angustias

- Posteriormente se desarrolla una curva de remanso fuerte tipo $S3$ que tendería a alcanzar la profundidad normal supercrítica ($y_n=4.50$ m).
- Aguas abajo del embalse de almacenamiento, el flujo encauzado se reincorpora al curso natural por medio de un dispositivo dissipador de energía.

Fig 8



2. Encauzamiento Barranco Las Angustias

- Condición de flujo crítico sobre la toma:

$$Q=1000 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (Caudal de análisis)}$$

$$B_u=57 \text{ m} \text{ (Ancho del umbral)}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{(Q/B_u)^2}{g}} = 3.15 \text{ m} \text{ Profundidad crítica}$$

$$E_{\min} = 1.50 * y_c = 4.73 \text{ m. Energía mínima.}$$



2. Encauzamiento Barranco Las Angustias

- Condición de flujo supercrítico aguas abajo de la toma:

$$H=15 \text{ m} \text{ (Desnivel)}$$

$$D = \frac{q^2}{gH^3} = 0.009296 \text{ (Número de caída)}$$

$$L = (4.30D^{0.27})H = 18.30 \text{ m} \text{ (Longitud del salto)}$$

$$y_p = (1.00D^{0.22})H = 5.40 \text{ m} \text{ (Altura pozo acumulación)}$$

$$y_1 = (0.54D^{0.425})H = 1.11 \text{ m} \text{ (Profundidad contraída)}$$

$$y_2 = (1.66D^{0.27})H = 7.04 \text{ m} \text{ (Profundidad conjugada)}$$

$$D_z = 2.00 \text{ m} \text{ (Profundidad cuenco disipación)}$$

Fig 8



2. Encauzamiento Barranco Las Angustias

- Condición de flujo supercrítico aguas abajo de la toma:

$Y_z = 4.70$ m (Profundidad subcrítica a la salida del cuenco)

$LR = 6(y_2 - y_1) = 35.59$ m (Longitud resalto hidráulico)

$$L_c = L + LR \approx 55 \text{ m}$$



2. Encauzamiento Barranco Las Angustias

- Condiciones normales supercríticas:

$Q = 1000$ m³/s

$n = 0.040$ (Coef. Manning. Incluye efecto de macrorugosidad y variación de densidad y viscosidad por concentración de sedimentos)

$l = 0.0393$ m/m (Pendiente del encauzamiento)

$m_i = 1.40H:1.00V$ (Pendiente talud izquierdo)

$m_d = 0.70H:1.00V$ (Pendiente talud derecho)

$b = 16$ m (Ancho solera del encauzamiento)

Fig 8



2. Encauzamiento Barranco Las Angustias

- Resultados:

$y = 4.50$ m (Profundidad normal supercrítica)

$A = 93.15$ m² (Área de flujo)

$P = 29.22$ m (Perímetro mojado)

$T = 25.44$ m (Ancho del espejo de agua)

$y_c = 6.36$ m (Profundidad crítica)

$v = 10.73$ m/s (Velocidad de flujo)

$Fr = 1.79$ (Número de Froude)



2. Encauzamiento Barranco Las Angustias

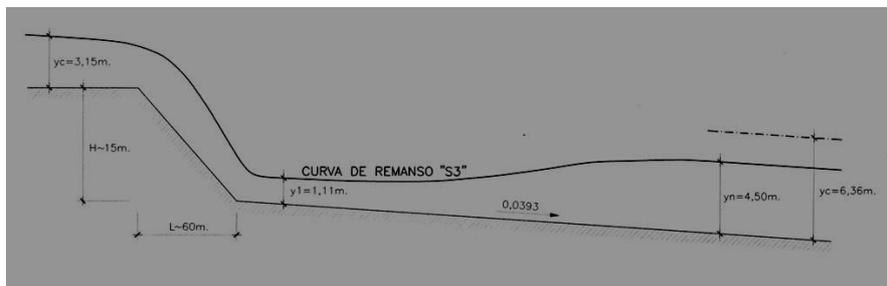


FIGURA N°8: PERFIL DE FLUJO DEL ENCAUZAMIENTO DEL BARRANCO DE LAS ANGUSTIAS



Contenido

2. Encauzamiento Barranco Las Angustias
3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa
 1. Solución con rápida de hormigón
 2. Solución mediante doble tubo
4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
 1. Tramo único: llenado variable
 2. Tramo único: número variable de bombas
 3. Tramo único: caudal de bombeo variable



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

- Se presentan los cálculos que justifican el diseño de las estructuras que incorporan el caudal captado a la balsa.
- Dos tipos de soluciones se han planteado:
 1. Llevar el agua hasta la balsa en lámina libre por medio de una rápida de hormigón hasta un cuenco disipador en la solera.
 2. Conducir el agua por dos tuberías enterradas por debajo del espaldón de la balsa, aflorando en la solera en forma de fuente.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

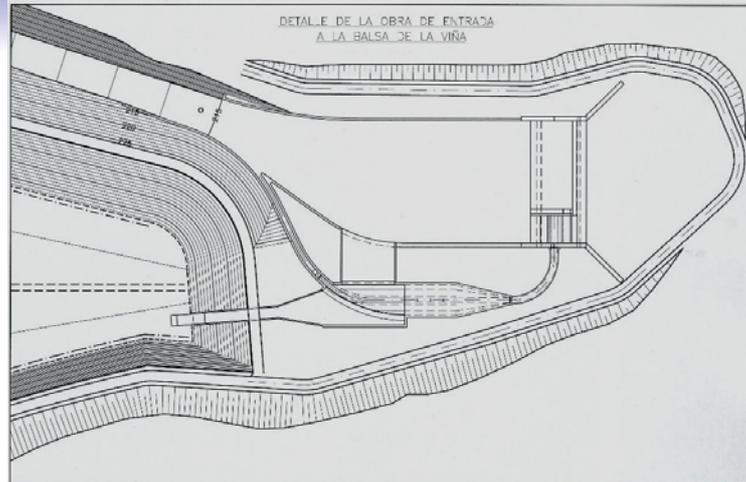


FIGURA N°9: OBRA DE ENTRADA A LA Balsa LA VIÑA



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



65

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

- Condicionantes de tipo constructivo obligarán a seleccionar la segunda alternativa en tubería como la más factible.
- Se plantean 4 alternativas de sistemas de disipación de energía para la descarga de las tuberías:
 - Dos dispositivos tipificados: tipo impacto USBR (USA) y tipo GUNKO (USSR).
 - Un dispositivo tipo impacto no tipificado.
 - Un dispositivo de funcionamiento mixto en lámina libre y presión.



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



66

Contenido

2. Encauzamiento Barranco Las Angustias
3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa
 1. Solución con rápida de hormigón
 2. Solución mediante doble tubo
4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
 1. Tramo único: llenado variable
 2. Tramo único: número variable de bombas
 3. Tramo único: caudal de bombeo variable



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.1 Solución con rápida de hormigón

- El agua se conduce en lámina libre.
- Tiene mejor funcionamiento hidráulico y mejor conservación, aunque con inconvenientes para su construcción.
- Elementos:

Aliviadero → Canal → Rápida → Disipador

Fig 10



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.1 Solución con rápida de hormigón

- Canal de entrada: recoge el agua desde el aliviadero en abanico del desarenador y la lleva hasta la entrada a la balsa. $S=1\%$, sección rectangular, $b_{inicial}=15.4$ m, $b_{final}=5.0$ m, longitud de transición (5 m) evita formación de ondas de choque, cota inicial de la solera del canal está 0.70 m por debajo del labio del vertedero.

Fig 10



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



69

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.1 Solución con rápida de hormigón

- Después de la transición y antes de entrar a la balsa el canal sigue en un tramo recto de 14.27 m con pendiente del 1% y ancho de 5 m, con el fin de asegurar que las líneas de corriente entren a la rápida en forma recta.
- Talud de la rápida 1.5H:1.0V se ajusta al talud de la balsa. $L=25.97$ m. Cota inicial = 223.91 m, cota final=206.90 m (solera del cuenco disipador)

Fig 10



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



70

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.1 Solución con rápida de hormigón

- Cuenco amortiguador: se ubica al final de la rápida para evitar la socavación en el fondo de la balsa cuando ésta está vacía. $L=13.0$ m, $b=5.0$ m. Cota solera 1.0 m por debajo del fondo de la balsa.
- En operación normal, el colchón de agua servirá de dissipador de energía.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

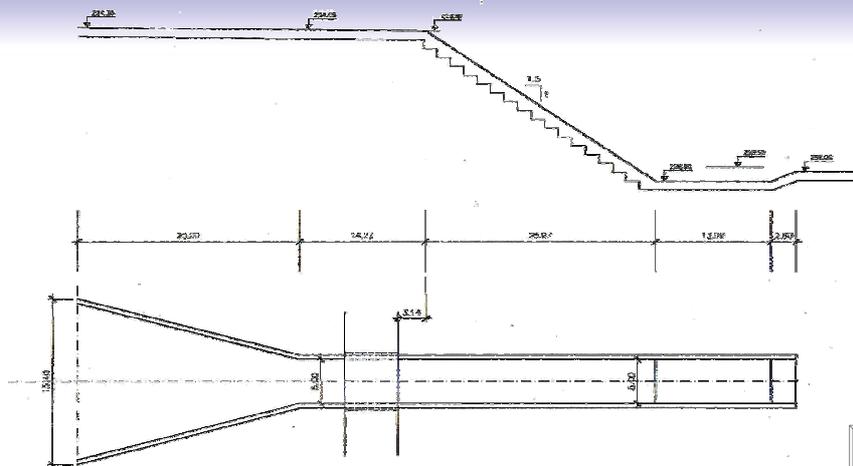


FIGURA N°10: ENTRADA CON RAPIDA DE HORMIGON



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.1 Solución con rápida de hormigón

- El funcionamiento hidráulico del sistema se analizó bajo dos escenarios: balsa vacía; balsa llena.
- Se empleó el modelo HEC-RAS para calcular la lámina de agua con un caudal de $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Fig 10



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidé



73

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.1 Solución con rápida de hormigón

- Balsa vacía:

$Y_{\text{inicial}} = 0.88 \text{ m}$ (en la sección de canal con $b = 15.40 \text{ m}$), régimen subcrítico.

$Y_{\text{crítico}} = 0.74 \text{ m}$ (en el estrechamiento).

Flujo supercrítico en la rápida, velocidades de hasta 13.4 m/s .

La energía se disipa en el cuenco amortiguador.



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidé



74

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

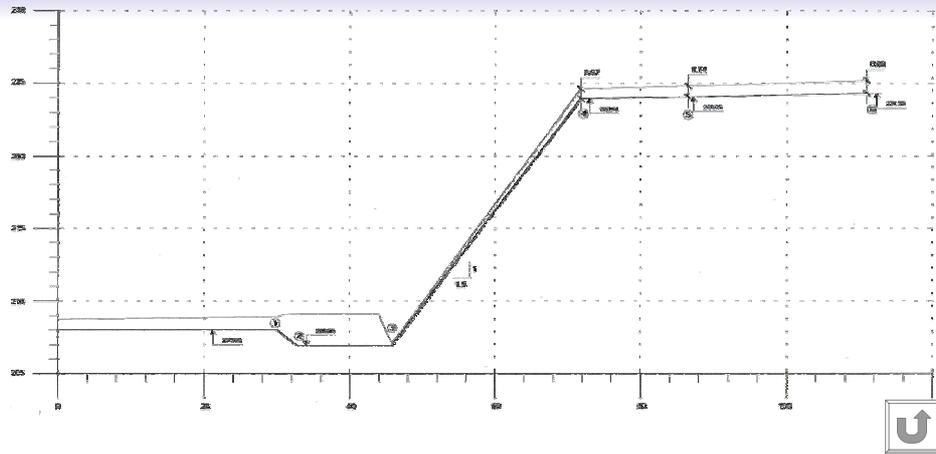


FIGURA N°11: PERFIL LAMINA DE AGUA – Balsa Vacía



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



75

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

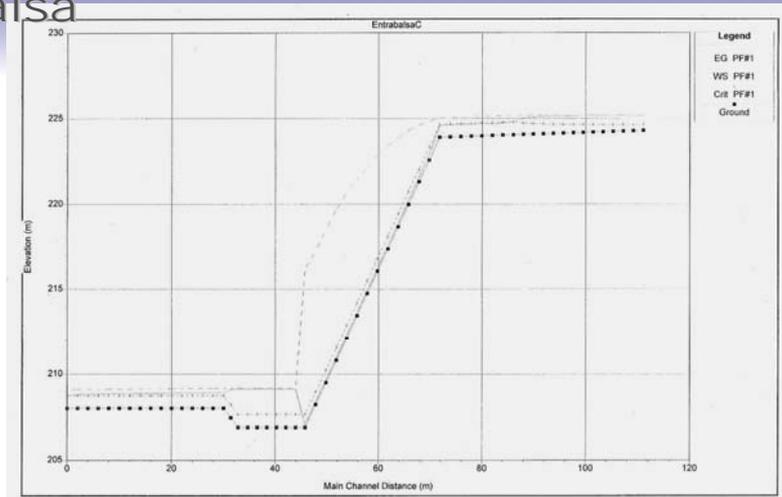


FIGURA N°12: RESULTADO HEC-RAS – Balsa Vacía



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



76

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.1 Solución con rápida de hormigón

- Balsa llena: se verifica la capacidad del canal cuando el embalse esté lleno (nivel 225.0 m)

$Y_{\text{inicial}}=0.88$ m (en la sección de canal con $b=15.40$ m), régimen subcrítico.

$Y_{\text{crítico}}=0.74$ m (final del estrechamiento).

Nivel en la rápida = nivel de la balsa (225 m).

Se comprueba que ni el canal ni el aliviadero se ven afectados por el nivel de la balsa.

Fig 13



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

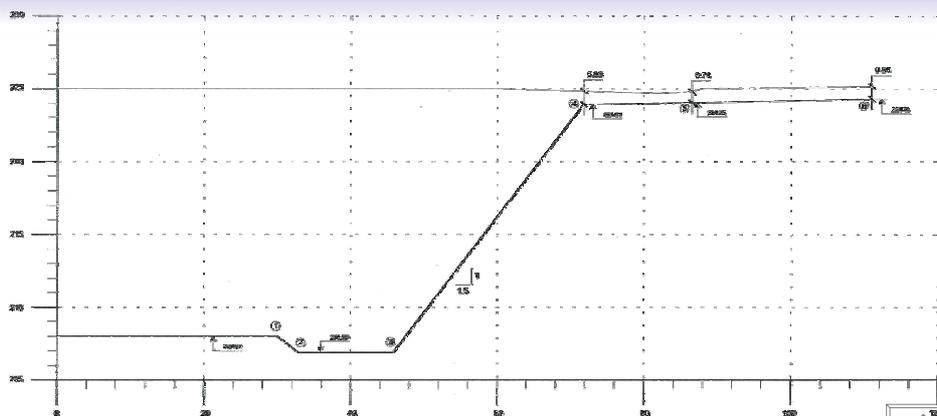


FIGURA N°13: PERFIL LAMINA DE AGUA – Balsa Llena



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.1 Solución con rápida de hormigón

- Hidráulicamente, la solución planteada no presenta inconveniente alguno.
- Constructivamente hay condicionantes restrictivos para esta solución:

Dificultad de garantizar una buena junta de unión entre el hormigón de la rápida y la lámina impermeable (junta húmeda y vertical) obliga a preferir la solución con tuberías.

Fig 13



Contenido

2. Encauzamiento Barranco Las Angustias
3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa
 1. Solución con rápida de hormigón
 2. Solución mediante doble tubo
4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
 1. Tramo único: llenado variable
 2. Tramo único: número variable de bombas
 3. Tramo único: caudal de bombeo variable



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- El agua que rebosa sobre el aliviadero lateral en abanico es conducida por un canal rectangular de 63.65 m (14 m iniciales de transición entre $b_i=15.33$ y $b_f=10$ m; tramo recto final de 6.0 m con $S=1\%$) a un cuenco de puesta en carga, en donde el agua se introduce a los tubos a través de un sistema de desbaste.

Fig 14



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



81

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- El cuenco se ubica en una rebaja de la solera del canal con pendiente 1V:2H hasta la cota 222.6 m, con ancho de 3.0 m.
- Al inicio de las tuberías se disponen rejas de protección contra materiales gruesos y una compuerta tipo tajadera que permite regular el caudal en caso de emergencias.

Fig 14



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



82

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- Las tuberías afloran en la balsa por medio de un recinto creado en la solera con sacos de arena protegidos con una capa de cemento y lámina impermeable. El agua sale en un chorro vertical libre a la atmósfera.
- Dos tubos de $\phi=1.8$ m, $L=55.8$ m garantizan la entrada del agua inclusive con el NMN de la balsa.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

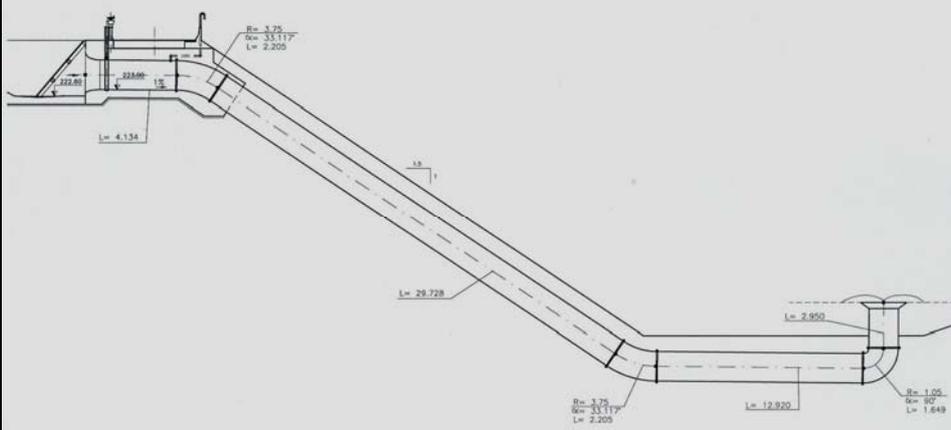


FIGURA N°14: ENTRADA CON TUBERIAS A LA Balsa



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- Es fundamental controlar el primer llenado de la balsa y cualquier operación de entrada con la balsa vacía por la alta carga hidráulica disponible (17 m aprox.)
- Si no se controla dicho flujo, el agua saldría a alta velocidad causando daños a la estructura de la balsa y a la lámina impermeable de recubrimiento.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- Disipador Tipificado - Tipo Impacto:

Vel. Impacto (v) = 16 m/s

Tirante contraído de impacto (d) = 0.60 m

Número de Froude = 6.59

Ancho disipador / tirante contraído = 8.30

Ancho disipador (w) = 5.00 m



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

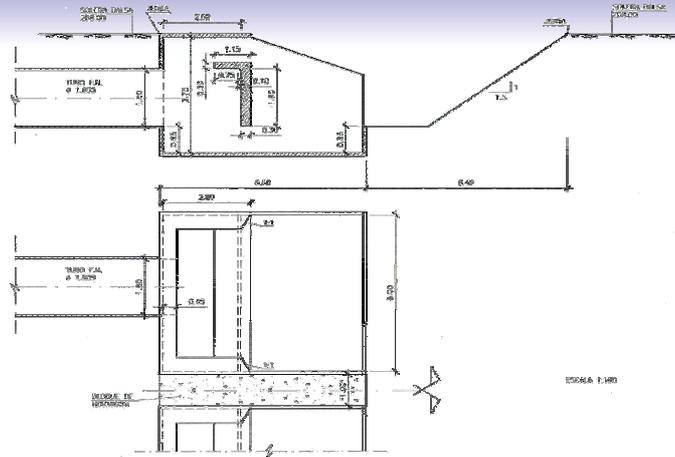


FIGURA N°15: DISIPADOR TIPIFICADO TIPO IMPACTO



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- Disipador Tipificado - Tipo GUNKO:

Dos tubos de $\phi=1.50$ m c/u.

Profundidad crítica en la tubería (y_c) = 1.20 m

Desnivel total (H) = 17.50 m

Vel. Contraída (v) = 15.51 m/s

Profundidad contraída (y_I) = 0.57 m

Número de Froude (F_I) = 6.56



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- Disipador Tipificado - Tipo GUNKO:

Profundidad Secuente (y_2) = 5.00 m

Altura de contrabarrera (C) = 0.80 m

$$\frac{C}{y_c} = 0.12 \cdot \sqrt{\frac{H}{y_c} + 2}$$

Ubicación de contrabarrera (L) = 15.0 m

Se debe disponer un recinto (h = 2.0 m) conformado con sacos de cemento protegidos con lámina sobre el fondo de la balsa para garantizar un nivel de agua de $y = 0.90 \cdot (y_2)$.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

CUENCO TIPO VNIK-GUNKO. ENTRADA A Balsa

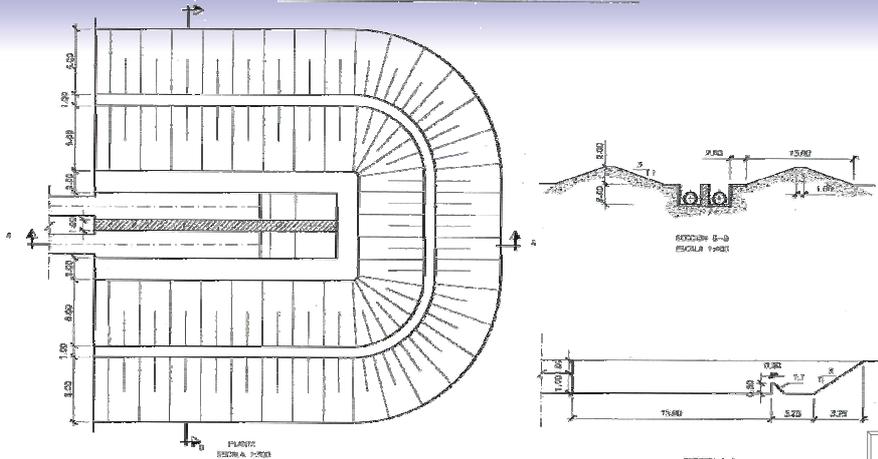


FIGURA N°16: DISIPADOR TIPIFICADO TIPO GUNKO



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- Se desecharon las soluciones con disipadores tipificados por el requerimiento de tener la mínima longitud posible en la junta de unión entre la lámina y el hormigón, condición que no cumple esta categoría.
- Se plantearon entonces las alternativas de dispositivos no tipificados.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

1. Dispositivo No Tipificado - Tipo Impacto:

Se dispone una placa circular ($\phi=3.0$ m) de concreto reforzado, 0.15 m de espesor empotrada en 6 pilas circulares de 2 m de altura y 0.15 m de diámetro.

El chorro de agua impacta en la losa, se esparce lateralmente cayendo sobre una losa cuadrada de hormigón en el fondo de la balsa.

El sistema funcionará efectivamente en los primeros llenados de la balsa;  después difusión del chorro.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

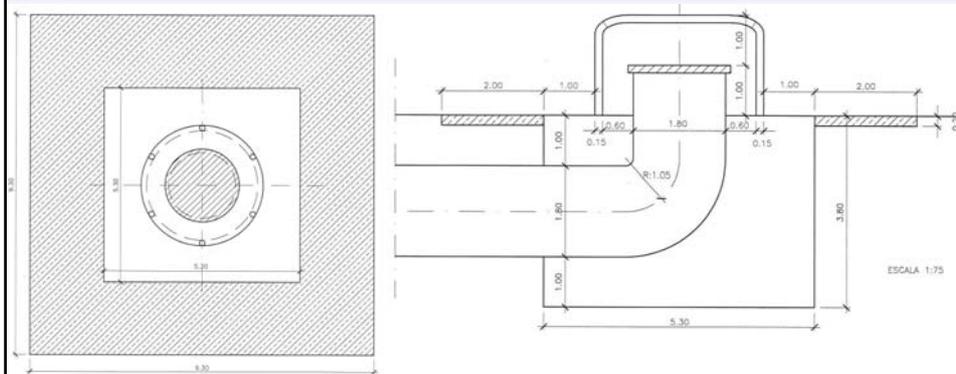


FIGURA N°17: DISIPADOR NO TIPIFICADO - TIPO IMPACTO



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



93

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

1. Dispositivo No Tipificado - Tipo Impacto:

- ✓ **Ventaja:** funcionamiento automático, sin necesidad de controlar niveles de agua en la balsa. Tubería puede trabajar en lámina libre o en presión.
- ✗ **Desventaja:** el sistema no ha sido probado; se requiere hacer un modelo a escala en el laboratorio.



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



94

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

- ☞ La Dirección del Proyecto recomendó adoptar este esquema por su buen funcionamiento en la laguna de Barlovento.
- ☞ Antes del primer llenado se deberá inundar la parte inferior del tubo hasta que el agua rebose por el extremo inferior, generándose un colchón de agua disipador de energía.

Fig 18



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

- ☞ El tubo de aguas arriba hasta la parte inundada del sifón debe trabajar en lámina libre.
- ☞ Si el tubo entra en carga, el chorro alcanzaría a la salida unos 15 m de altura, causando graves daños a la balsa.

Fig 18



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

- ☞ Cuando el nivel en la balsa esté un metro por encima del borde del tubo, éste entraría en carga pero el chorro se difuminaría en el volumen embalsado de agua.
- ☞ Es necesario verificar el comportamiento del sistema con un modelo a escala reducida en el laboratorio.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

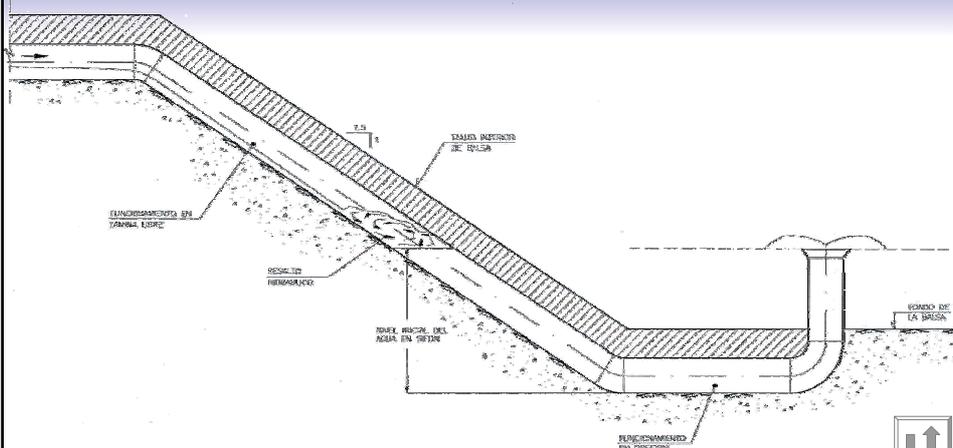


FIGURA N°18: DISIPADOR NO TIPIFICADO - TIPO SIFON



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

- ☞ La primera comprobación hidráulica es el funcionamiento del resalto dentro del tubo.
- ☞ Se supone que la incorporación del caudal en la cámara de entrada se da en condición de flujo crítico. La profundidad del agua sería:

$$y_{cc} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \underline{0.47 \text{ m}}$$

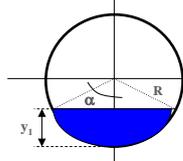


3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

- ☞ Carga de agua entre cámara de entrada y el nivel de sifón: $\Delta H = 223.07 - 209.70 = \underline{13.37 \text{ m}}$
- ☞ Velocidad teórica: $v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H} = \underline{16.20 \text{ m/s}}$
- ☞ Sección hidráulica: $A_1 = \frac{Q}{v_1} = \underline{0.31 \text{ m}^2}$



$$A_1 = \frac{r^2}{2} (2\alpha - \sin(2\alpha))$$

$$\rightarrow \alpha = 0.875 \text{ rad}$$

$$y_1 = r - r \cdot \cos(\alpha) = \underline{0.32 \text{ m}}$$



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

☞ Formulación de Straub (1978):

☞ Profundidad Crítica: $y_c = \frac{1.01}{D^{0.264}} \left(\frac{Q\sqrt{\alpha}}{\sqrt{g}} \right)^{0.506} = \underline{1.10 \text{ m}}$

☞ Número de Froude: $F_1 = \left(\frac{y_c}{y_1} \right)^{1.93} = \underline{10.84}$

☞ Profundidad secuente:

Si $F_1 > 1.70$: $y_2 = \frac{y_c^{1.80}}{y_1^{0.73}} = \underline{2.73 \text{ m}}$

Si $F_1 < 1.70$: $y_2 = \frac{y_c^2}{y_1}$

Fig 19



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

☞ Longitud resalto: $L = 6(y_2 - y_1) = \underline{14.46 \text{ m}}$

☞ Pérdida de energía en el resalto:

$$\Delta H_r = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 \cdot y_2 \cdot y_1} = \underline{4.00 \text{ m}}$$

- Con la balsa vacía la parte superior del tubo (8.8 m) funciona en lámina libre. En el resalto del sifón se pierden 4 m de energía.

Fig 19



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

- ☞ La segunda comprobación es la velocidad de movimiento incipiente del aire en la rama ascendente de la tubería.
- ☞ Un tubo de aireación de $\phi=0.30$ m permitirá compensar el aire consumido en el resalto, contribuyendo a estabilizar la posición del pie del resalto.

Fig 19



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

- ☞ Según Kent (1965):

$$V = C \cdot \sqrt{g \cdot D \cdot \sin(\alpha)} = 1.4 \cdot \sqrt{9.8 \cdot 1.8 \cdot \sin(0.55)} = \underline{4.38 \text{ m/s}}$$

C : coeficiente de factor de forma de la burbuja
 α : inclinación tubería. D : diámetro tubería

- ☞ Según Wisner (1975):

$$V = \sqrt{g \cdot D \cdot (0.25 \cdot \sqrt{\sin(\alpha)} + 0.825)} = \underline{4.25 \text{ m/s}}$$

- Se concluye que la velocidad incipiente es **4.32 m/s**



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

- ➔ Dicha velocidad es mayor a la velocidad del tramo en presión de la tubería ($V_t = 1.96 \text{ m/s}$) con lo cual **no** habrá barrido de aire hacia aguas arriba ni reemplazo de agua desde el sifón.
- ➔ Esto garantiza la lámina libre del primer tramo en los primeros llenados de la balsa.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

- ➔ La tercera verificación es la condición de momentum entre las dos secciones extremas del volumen de control.

$$M = \frac{Q^2}{g \cdot A} + \bar{y} \cdot A$$

- ➔ Sección aguas arriba (1):
- ➔ Espejo de agua (T): $2\sqrt{y \cdot (D - y)} = 1.38 \text{ m}$

Fig 19



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

☞ Sección hidráulica (A): 0.31 m^2

☞ Centro gravedad (\hat{Y}): 0.08 m

☞ Momentum ($M1$): 8.25 m^3

☞ Sección aguas abajo (2):

☞ Sección hidráulica (A): 2.54 m^2

Fig 19



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

☞ Centro gravedad (\hat{Y}): 1.82 m

☞ Momentum ($M2$): 5.63 m^3

- $M1 > M2$: el resalto hidráulico se formará en inmediaciones de la primera rama del sifón, aprox. a 8.80 m de la entrada aguas arriba de la tubería.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

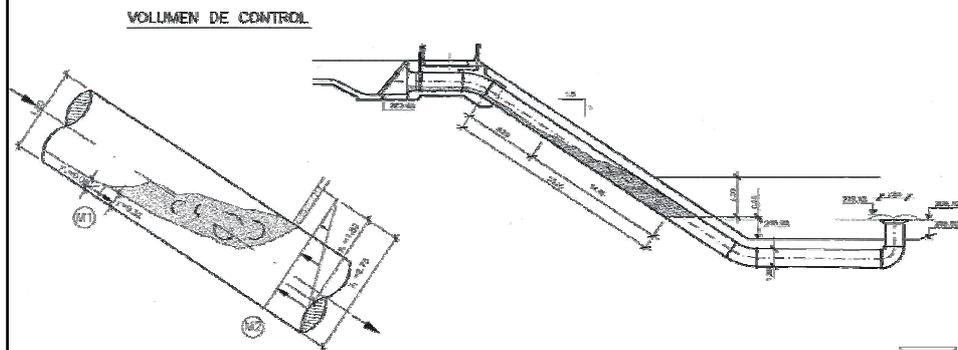


FIGURA N°19: DISIPADOR TIPO SIFON - HIDRAULICA



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



109

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

2. Dispositivo No Tipificado - Tipo Sifón:

- Según las tres comprobaciones, el diseño hidráulico del sifón es adecuado, **siempre y cuando se inunde de agua el sifón hasta que rebose por el extremo de la tubería aguas abajo**, antes del llenado de la balsa.
- El agua sale a la balsa a un nivel de 1.70 m por encima del fondo a través de una campana de 2.80 m de diámetro.



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



110

3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

• Se verifica ahora el funcionamiento del sistema con la condición de embalse semilleno y lleno (MNN).

• Inicialmente se calculan las pérdidas localizadas.

Pérdidas en la reja: $H = B \cdot \left(\frac{t}{s}\right)^{4/3} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \sin(\alpha) = 6.853 \times 10^{-3}$

B : ancho reja (10 m); t : espesor barrotes: 0.06 cm; s : separación entre barrotes=0.03 m; α : inclinación reja (55°). v : vel. aproximación.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

• Pérdidas emboquillamiento: $h = 0.06 \cdot \frac{v^2}{2g}$

• Pérdidas codo a 33.12° ($\times 2$): $h = \left(0.134 \cdot \frac{v^2}{2g}\right) \times 2$

• Pérdidas codo a 90° : $h = 0.775 \cdot \frac{v^2}{2g}$

• Pérdidas a la salida: $h = 0.75 \cdot \frac{v^2}{2g}$

• Bernoulli entre lámina de agua a la entrada y la balsa:

$$H_{\text{sup}} - H_{\text{inf}} + 0.1 - 6.853 \times 10^{-3} = 1.853 \cdot \frac{v^2}{2g} + S \cdot L$$



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- Se aproximan las pérdidas longitudinales según Manning y se llega a la velocidad media en la tubería:

$$v^2 = \frac{H_{\text{sup}} - H_{\text{inf}} - 6.853 \cdot 10^{-3} + 0.10}{\frac{1.853}{2g} + \frac{n^2 \cdot L}{(\phi/4)^{4/3}}}$$

- Ahora se plantea la corrección de dicha velocidad según el método rígido:

$$v = \frac{\sqrt{2g \cdot (H_{\text{sup}} - H_{\text{inf}})}}{\sqrt{1 + f \frac{L}{\phi}}}$$



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- Para estimar el coeficiente f de Darcy se usa la fórmula de Swamee:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{K}{3.7 \cdot \phi} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2}$$

K = rugosidad absoluta = $5 \cdot 10^{-5}$ (fundición dúctil)

- A través de un proceso iterativo de solución de las anteriores ecuaciones se obtiene la curva Qentrada vs. Nivel de balsa.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- Mediante una hoja de cálculo se implementó el proceso iterativo de solución, para obtener los caudales correspondientes a tres niveles diferentes de la balsa:
 - ✘ Nivel 224.8 m: última cota para la cual se pueden transportar $10 \text{ m}^3/\text{s}$ por los tubos.
 - ✘ Nivel 224.9 m.
 - ✘ Nivel 225.0 m. Nivel máximo normal de la balsa.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

3.2 Solución mediante doble tubo

- La primera simulación se hizo con una tubería de **1.50 m** de diámetro. Se obtuvo que para niveles de balsa cercanos al máximo normal, el sistema **no** era capaz de transportar los $10 \text{ m}^3/\text{s}$ requeridos.
- La simulación con dos tuberías de **1.80 m** de diámetro muestra que para el nivel máximo de la balsa **sí** se puede captar el caudal de diseño de $10 \text{ m}^3/\text{s}$.



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

DATOS DE PARTIDA:

$k = 5.00E-05$ (Rugosidad en metros)
 $\phi = 1.8$ (Diámetro en m)
 $\gamma = 1.00E-06$ (Viscosidad relativa del agua)
 $L = 230.85$ (Longitud equivalente tubería en metros)
 $H_{sup} = 225.27$ (Cota superior en metros)
 $H_{inf} = 224.8$ (Cota inferior en metros)

SOLUCIÓN (m3/s)	
Q =	5.02
2 TUBOS =	10.03

$V_{inicial} = 1.43$ (Velocidad inicial de la iteración en m/s)

ITERACIÓN MÉTODO RÍGIDO:

ITERACIÓN BERNOULLI:

Re	f (Swamee)	v (Mét. rígido)	Q (m3/s)	$H_{paso} - H_{inf}$	Pérdidas
2.57E+06	0.011021	1.96520706	4.97539929	3.480006	0.498300444
3.52E+06	0.010727	1.97066662	5.014713853		
3.55E+06	0.010720	1.97101728	5.015626067		
3.55E+06	0.010720	1.97102898	5.015649196		
3.55E+06	0.010720	1.97102578	5.015649684		
3.55E+06	0.010720	1.97102578	5.015649686		
3.55E+06	0.010720	1.97102578	5.015649685		
3.55E+06	0.010720	1.97102578	5.015649685		
3.55E+06	0.010720	1.97102578	5.015649685		
3.55E+06	0.010720	1.97102578	5.015649685		
3.55E+06	0.010720	1.97102578	5.015649685		
3.55E+06	0.010720	1.97102578	5.015649685		
3.55E+06	0.010720	1.97102578	5.015649685		
3.55E+06	0.010720	1.97102578	5.015649685		

$H_{paso} - H_{inf}$ / Pérdidas
 3.480006 / 0.498300444
 * Incluido el término $v^2/2g$ en embudo

FIGURA N°20: ITERACION MIXTA METODO RIGIDO Y BERNOULLI



3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa

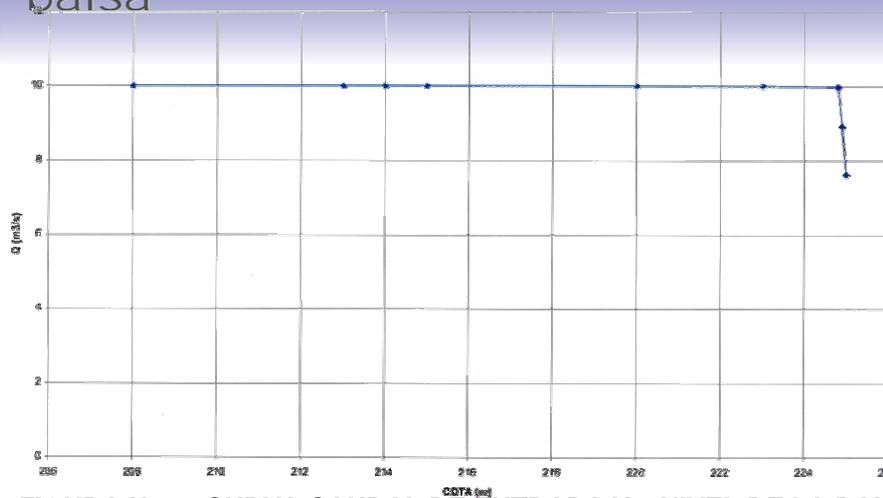


FIGURA N°21: CURVA CAUDAL DE ENTRADA Vs. NIVEL DE LA Balsa



Contenido

2. Encauzamiento Barranco Las Angustias
3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa
 1. Solución con rápida de hormigón
 2. Solución mediante doble tubo
4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
 1. Tramo único: llenado variable
 2. Tramo único: número variable de bombas
 3. Tramo único: caudal de bombeo variable



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

- El sistema de balsas La Viña-El Salto-El Vicario regulan los caudales captados netos ($20 \text{ m}^3/\text{s}$) en el Barranco de las Angustias:
- Viña: $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$. Vol = $0.76 - 1.65 \text{ hm}^3$
- Salto: $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$. Vol = 0.50 hm^3
- Vicario: Vol = 2.0 hm^3
- Capacidad total de almacenamiento: $1.26 - 2.15 \text{ hm}^3$ (según la decisión final de la capacidad de La Viña).



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

- El Vicario está 290 m por debajo del Salto, a una distancia de 2500 m.
- Se requiere bombear un caudal medio de 2 m³/s con dos posibles alternativas:
 1. Tramo único directo (H=290 m, L=2500 m).
 2. Dos tramos a saber:
 - a. H geométrica=175 m, Longitud=285 m.
 - b. H geométrica=125 m, Longitud=2300 m.



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

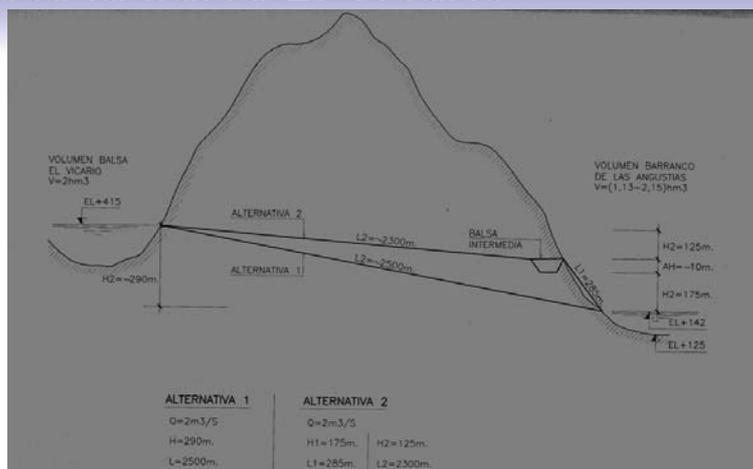


FIGURA N°22: ALTERNATIVAS DE IMPULSIONES DEL EMBALSE LA VINA



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

- Para cada alternativa se calcularon los requerimientos en función del número de horas de bombeo por día (8, 12, 16, 20 y 24 h) con tres consideraciones:
 1. Tiempo variable de llenado del Vicario, con 4 bombas de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ cada una.
 2. Número de bombas variables con $Q=0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ c/u.
 3. Q bombeo variable con 4 bombas ppales.



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

- Eficiencia de grupo: 0.50.
- # Máximo de arranques/hora: 5 \rightarrow (720 seg).
- Vel. Máx. Conducción: 4 m/s.



Contenido

2. Encauzamiento Barranco Las Angustias
3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa
 1. Solución con rápida de hormigón
 2. Solución mediante doble tubo
4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
 1. Tramo nico: llenado variable
 2. Tramo nico: número variable de bombas
 3. Tramo nico: caudal de bombeo variable



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.1 Tramo nico. Tiempo de llenado variable.

- Con 4 unidades de bombeo de 0.5 m³/s el tiempo de llenado de la balsa Vicario sería:

<u>Bombeo</u>		<u>Tiempo Llenado</u>
8 horas/día		35 días
16 horas/día		17 días
24 horas/día		12 días

- $\varnothing=0.40$ m (en cada ramal); $\varnothing=0.80$ m (en la conducción nica L=2500 m). Carga dinámica de bombeo = 359 m. Potencia freno req.: 4782 HP.



Contenido

2. Encauzamiento Barranco Las Angustias
3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa
 1. Solución con rápida de hormigón
 2. Solución mediante doble tubo
4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
 1. Tramo único: llenado variable
 2. Tramo único: número variable de bombas
 3. Tramo único: caudal de bombeo variable



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.2 Tramo único. Número de bombas variable.

- Con unidades de bombeo de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ el tiempo de llenado de la balsa Vicario sería **12** días, independiente del # de horas de bombeo y de unidades:

<u>Operación</u>		<u># Unidades</u>
8 horas/día		12 bombas
16 horas/día		6 bombas
24 horas/día		4 bombas



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.2 Tramo único. Número de bombas variable.

<u>Operación</u>		<u>Ø Ramal</u>
8 horas/día		0.70 m
16 horas/día		0.50 m
24 horas/día		0.40 m

- Ø Conducción única, carga dinámica bombeo (TDH) y potencia al freno requerida (BPH):

<u>Bombeo</u>	<u>Ø Conducción</u>	<u>TDH</u>	<u>BPH</u>
8 h/día	1.40 m	321 m	4283 HP
16 h/día	1.00 m	337 m	4493 HP
24 h/día	0.80 m	359 m	4782 HP



Contenido

2. Encauzamiento Barranco Las Angustias
3. Cálculo del sistema de entrada a la balsa
 1. Solución con rápida de hormigón
 2. Solución mediante doble tubo
4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
 1. Tramo único: llenado variable
 2. Tramo único: número variable de bombas
 3. Tramo único: caudal de bombeo variable



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.3 Tramo único. Caudal de bombeo variable.

- El tiempo de llenado de la balsa Vicario sería **12** días, independientemente del caudal bombeado por cada unidad. Con 4 unidades de bombeo:

<u>Operación</u>		<u>Q por impulsión</u>
8 horas/día		1.50 m ³ /s
16 horas/día		0.75 m ³ /s
24 horas/día		0.50 m ³ /s



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



131

4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.3 Tramo único. Caudal de bombeo variable.

<u>Operación</u>		<u>Ø Ramal</u>
8 horas/día		0.70 m
16 horas/día		0.50 m
24 horas/día		0.40 m

- Ø Conducción única, carga dinámica bombeo (TDH) y potencia al freno requerida (BPH):

Bombeo	Ø Conducción	TDH	BPH
8 h/día	1.40 m	321 m	12849 HP
16 h/día	1.00 m	337 m	6739 HP
24 h/día	0.80 m	359 m	4782 HP



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



132

Contenido

- 4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
 - 4. Dos tramos: llenado variable
 - 5. Dos tramos: número variable de bombas
 - 6. Dos tramos: caudal de bombeo variable
 - 7. Selección Alternativa de Diseño



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.4 Dos Tramos. Tiempo de llenado variable.

- Con 4 unidades de bombeo de 0.5 m³/s el tiempo de llenado de la balsa Vicario sería:

<u>Bombeo</u>	<u>T. Llenado</u>	<u>Vol. Balsa Intermed.</u>
8 horas/día	35 días	115 200 m ³
16 horas/día	17 días	57 600 m ³
24 horas/día	12 días	360 m ³

- $\varnothing_{ramal} = 0.40$ m; $\varnothing_{ppal} = 0.80$ m. $TDH_{Tramo1} = 389$ m, $BHP_{Tramo1} = 2438$ HP. $TDH_{Tramo2} = 188$ m, $BHP_{Tramo2} = 2508$ HP.



Contenido

4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4. Dos tramos: llenado variable

5. Dos tramos: número variable de bombas

6. Dos tramos: caudal de bombeo variable

7. Selección Alternativa de Diseño



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.5 Dos Tramos. Número de bombas variable.

- Con unidades de bombeo de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ el tiempo de llenado de la balsa Vicario sería **12** días, independiente del # de horas de bombeo y de unidades:

<u>Operación</u>	<u># Unidades</u>	<u>Vol. Balsa Intermedia</u>
8 horas/día	12 bombas	345 600 m^3
16 horas/día	 6 bombas	86 400 m^3
24 horas/día	4 bombas	360 m^3



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.5 Dos Tramos. Número de bombas variable.

<u>Operación</u>		<u>Ø Ramal</u>
8 horas/día		0.70 m
16 horas/día		0.50 m
24 horas/día		0.40 m

- Ø Conducción principal, carga dinámica bombeo (TDH) y potencia al freno requerida (BPH):

<u>Bombeo</u>	<u>Ø Conducción</u>	<u>TDH 1°Tramo</u>	<u>BPH 1°Tramo</u>	<u>TDH 2°Tramo</u>	<u>BPH 2°Tramo</u>
8 h/día	1.40 m	179 m	2381 HP	154 m	2050 HP
16 h/día	1.00 m	180 m	2405 HP	168 m	2242 HP
24 h/día	0.80 m	183 m	2438 HP	188 m	2508 HP



Contenido

4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario
4. Dos tramos: llenado variable
5. Dos tramos: número variable de bombas
6. Dos tramos: caudal de bombeo variable
7. Selección Alternativa de Diseño



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.6 Dos Tramos. Caudal de bombeo variable.

- El tiempo de llenado de la balsa Vicario sería **12** días, independientemente del caudal bombeado por cada unidad. Con 4 unidades de bombeo:

<u>Operación</u>	<u>Q Impulsión</u>	<u>Vol. Balsa Intermedia</u>
8 horas/día	1.50 m ³ /s	345 600 m ³
16 horas/día	0.75 m ³ /s	86 400 m ³
24 horas/día	0.50 m ³ /s	360 m ³



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



139

4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.6 Dos Tramos. Caudal de bombeo variable.

<u>Operación</u>	<u>Ø Ramal</u>
8 horas/día	0.70 m
16 horas/día	0.50 m
24 horas/día	0.40 m

- Ø Conducción principal, carga dinámica bombeo (TDH) y potencia al freno requerida (BPH):

Bombeo	Ø Conducción	TDH 1°Tramo	BPH 1°Tramo	TDH 2°Tramo	BPH 2°Tramo
8 h/día	1.40 m	179 m	7142 HP	154 m	6149 HP
16 h/día	1.00 m	180 m	3607 HP	168 m	3364 HP
24 h/día	0.80 m	183 m	2438 HP	188 m	2508 HP



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



140

Contenido

4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

- 4. Dos tramos: llenado variable
- 5. Dos tramos: número variable de bombas
- 6. Dos tramos: caudal de bombeo variable
- 7. Selección Alternativa de Diseño



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.7 Selección alternativa de diseño

- El llenado de la balsa debe hacerse en el menor tiempo posible dado el carácter aleatorio de los caudales.
- Diámetro mínimo conducción principal: 1 m.
- Máximo **seis** unidades de bombeo (restricción de costos, volúmenes requeridos y espacio para ubicar los equipos en serie).



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.7 Selección alternativa de diseño

- Para definir la mejor alternativa se debe considerar el costo de la energía consumida.
- La solución con balsa intermedia es menos favorable que la de un tramo único de bombeo.



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.7 Selección alternativa de diseño

Bombeo Horas/ día	Tiempo llenado Variable $Q_{\text{bomba}} = 0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ N° de Bombas = 4					N° de Bombas Variable $Q_{\text{bomba}} = 0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ T. llenado Balsa V. = 12 días					Caudal de Bombas Variable N° de Bombas = 4 T. llenado Balsa V. = 12 días				
	ϕ (m)	BHP HP	T Días	E/bomba KW-h/ año	C. E.T. Miles de Ptas.	N° Bom- bas	ϕ (m)	BHP HP	E KW-h/ año	C. E.T. Miles de Ptas.	Q por bom- ba m^3/s	ϕ (m)	BHP HP	E KW-h/ Año	C. E.T. Miles de Ptas.
8	0,8	4.782	35	990.870	39.635	12	1,40	4.283	295.846	35.502	1,50	1,40	12.849	887.538	35.502
12	0,8	4.782	23	990.870	39.635	8	1,20	4.288	444.255	35.540	1,00	1,20	8.575	888.511	35.540
16	0,8	4.782	17	990.870	39.635	6	1,00	4.493	620.690	37.241	0,75	1,00	6.739	931.035	37.241
20	0,8	4.782	14	990.870	39.635	5	0,90	4.387	757.555	37.878	0,60	0,90	5.484	946.943	37.878
24	0,8	4.782	12	990.870	39.635	4	0,80	4.782	990.870	39.635	0,50	0,80	4.782	990.870	39.635

CUADRO COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS DE IMPULSIÓN



4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.7 Selección alternativa de diseño

- Las dos mejores alternativas serían:

Opción I

Número de grupos:	6 principales + 2 reserva
Capacidad de cada grupo:	0.50 m³/s
Horas bombeo/día:	16 h
Potencia instalada en cada grupo:	4493 HP
Energía consumida por cada grupo:	620 690 kW-h
Costo energético total por año (CET):	37'241 000 Ptas.
Tiempo llenado Balsa Vicario:	12 días
Ø Conducción principal:	1.00 m



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



145

4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.7 Selección alternativa de diseño

Opción II

Número de grupos:	4 principales + 2 reserva
Capacidad de cada grupo:	0.75 m³/s
Horas bombeo/día:	16 h
Potencia instalada en cada grupo:	6739 HP
Energía consumida por cada grupo:	931 035 kW-h
Costo energético total por año (CET):	37'241 000 Ptas.
Tiempo llenado Balsa Vicario:	12 días
Ø Conducción principal:	1.00 m



Universidad Politécnica de Cartagena
Dr. Ing. Luis Gerardo Castillo Elsitidí



146

4. Impulsión desde la balsa El Salto hasta la balsa El Vicario

4.7 Selección alternativa de diseño

- Las dos alternativas son equivalentes en el costo de la energía consumida anualmente, número de horas de bombeo diario, tiempo de llenado de la balsa Vicario y en el diámetro de la conducción principal.
- La selección definitiva deberá hacerse basada en un estudio técnico-económico más detallado que incluya costos de grupos de bombeo y dispositivos de control de golpe de ariete.



GRACIAS

Proyecto de La Viña (Islas Canarias)

I. Diseño de las Estructuras Hidráulicas

Análisis Avanzado de Obras Hidráulicas

Junio de 2005

