

ANEJO 4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO REDUCIDO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
2. DELIMITACIÓN DE LA EXTENSIÓN DEL MODELO	1
3. REPLANTEO Y CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA	2
4. REPLANTEO, COLOCACIÓN Y HORMIGONADO DE PLACAS DE ACERO BAJO MODELO.....	5
5. MECANIZADO DE LOS BLOQUES DE POREXPAN.....	6
6. CIRCUITO HIDRÁULICO DE ALIMENTACIÓN Y RETORNO DE CAUDALES	10
7. RECEPCIÓN Y COLOCACIÓN DE LOS BLOQUES MECANIZADOS ...	16
7.1. CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD DE LOS BLOQUES	19
8. CONSTRUCCIÓN DEL CUERPO DE PRESA	22
9. ELEMENTOS DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN.....	35
9.1. VERTEDERO TRIANGULAR EN PARED DELGADA.....	35
9.2. TUBO DE PITOT	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diámetro de arandela en función del número de varillas.....	22
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Líneas de corriente para el caudal de Avenida de Proyecto	2
Figura 2. Construcción de la infraestructura.....	3
Figura 3. Elementos de la infraestructura.....	4
Figura 4. Sistema de drenaje	4
Figura 5. Replanteo de las placas de acero	5
Figura 6. Colocación de las placas de acero.....	6
Figura 7. Cartografía del modelo y distribución en planta de los bloques de porexpan.	8
Figura 8. Imágenes del UNIGRAPHICS-NX.....	9
Figura 9. Mecanizado de bloques	9
Figura 10. Almacenaje de bloques	10
Figura 11. Esquema del circuito hidráulico.....	10
Figura 12. Primer depósito superficial	12
Figura 13. Depósitos superficiales y tubo piezométrico	12
Figura 14. Depósito de carga	13
Figura 15. Conexión tubería PVC con cubeta de recepción	14
Figura 16. Circuito hidráulico auxiliar para alimentación fina de caudales.....	14
Figura 17. Retorno de caudales	15
Figura 18. Alimentación en vacío	16
Figura 19. Colocación y pintado de bloques	16
Figura 20. Fijación mecánica de los bloques	17
Figura 21. Suavizado de juntas	18
Figura 22. Sellado de orificios	18

Figura 23. Tacos de latón	19
Figura 24. Mecanismo de funcionamiento del taco	20
Figura 25. Mecanismo resistente.....	20
Figura 26. Esquema del ensayo	21
Figura 27. División de la sección por aliviadero A1	23
Figura 28. Primer elemento del aliviadero A1	24
Figura 29. Encofrado del segundo elemento aliviadero A1	24
Figura 30. Hormigonado y desencofrado segundo elemento aliviadero A1	25
Figura 31. Colocación segundo elemento	25
Figura 32. Dientes umbral terminal.....	26
Figura 33. División de la sección central de la presa.....	26
Figura 34. Aliviadero A3.....	27
Figura 35. Colocación aliviadero A3	28
Figura 36. Conexión tubos de cobre.....	28
Figura 37. Colocación en modelo del aliviadero central	29
Figura 38. Muros cajeros intermedios.....	30
Figura 39. Muros cajeros laterales.....	30
Figura 40. Estribos.....	31
Figura 41. Bloques aguas abajo del estribo.....	31
Figura 42. Talud estribo	32
Figura 43. Cuerpo de presa pintado	32
Figura 44. Colocación de los últimos bloques	33
Figura 45. Resultado final	34
Figura 46. Regulación de los niveles líquidos requeridos.....	35
Figura 47. Vertedero triangular en pared delgada	36
Figura 48. Características de los vertederos triangulares	36
Figura 49. Valor de k_h en función del ángulo del vertedero θ (grados).....	37
Figura 50. Coeficiente de descarga C_e en función del ángulo del vertedero θ (grados)..	38

Figura 51. Valor de C_e como función de b/B y h_1/p	39
Figura 52. Caudales de descarga para vertederos triangulares en pared delgada según la altura de vertido (h_1) en metros	40
Figura 53. Caudales de descarga para vertederos triangulares en pared delgada según la altura de vertido (h_1) en metros	41
Figura 54. Tubo de Pitot para la obtención de la altura de velocidad	42

1. INTRODUCCIÓN

Tal y como se justifica en el **Anejo 3. Tipología y grado de esquematización del modelo reducido**, se trata de construir un modelo físico reducido de la presa a escala geométrica 1/50.

La realización del modelo se lleva a cabo en las siguientes fases:

- Delimitación de la extensión del modelo.
- Demolición de antiguos modelos, replanteo y construcción de la infraestructura que contendrá el nuevo modelo.
- Replanteo, colocación y hormigonado de placas de acero bajo modelo.
- Mecanizado de los bloques de poliestireno expandido (en adelante, porexpan) que reproducen la morfología del terreno.
- Ejecución del circuito hidráulico de alimentación y retorno de caudales al modelo físico.
- Recepción, colocación de los bloques mecanizados y cálculo de la estabilidad de los mismos.
- Construcción del cuerpo de presa.
- Elementos de control e instrumentación.

A continuación se desarrolla con mayor profundidad cada una de las fases anteriormente mencionadas.

2. DELIMITACIÓN DE LA EXTENSIÓN DEL MODELO

La delimitación de la superficie topográfica a reproducir en el modelo físico se obtiene a partir de los planos aportados en el proyecto técnico de construcción del Azud de Terrateig. Para ello, se prueban diferentes encajes que tengan en cuenta los siguientes criterios técnicos:

- La longitud de cauce a reproducir en el modelo físico aguas abajo de la presa debe permitir el estudio de posibles fenómenos erosivos como consecuencia de la salida del agua por los órganos de desagüe, así como el correcto establecimiento de la condición de contorno impuesta por el río en el pie de presa.

- La superficie a reproducir aguas arriba de la presa debe incluir el meandro existente justo aguas arriba de la misma (para reproducir fielmente las condiciones de aproximación del flujo a las embocaduras de los órganos de desagüe). Cumplido este requisito, basta con que el perímetro aguas arriba del meandro corte perpendicularmente a las líneas de corriente (este corte se convierte en el modelo en la zona de alimentación de caudales) (**Figura 1**).
- Las zonas del embalse con flujo residual (“zonas muertas”) pueden ser interceptadas por el perímetro.

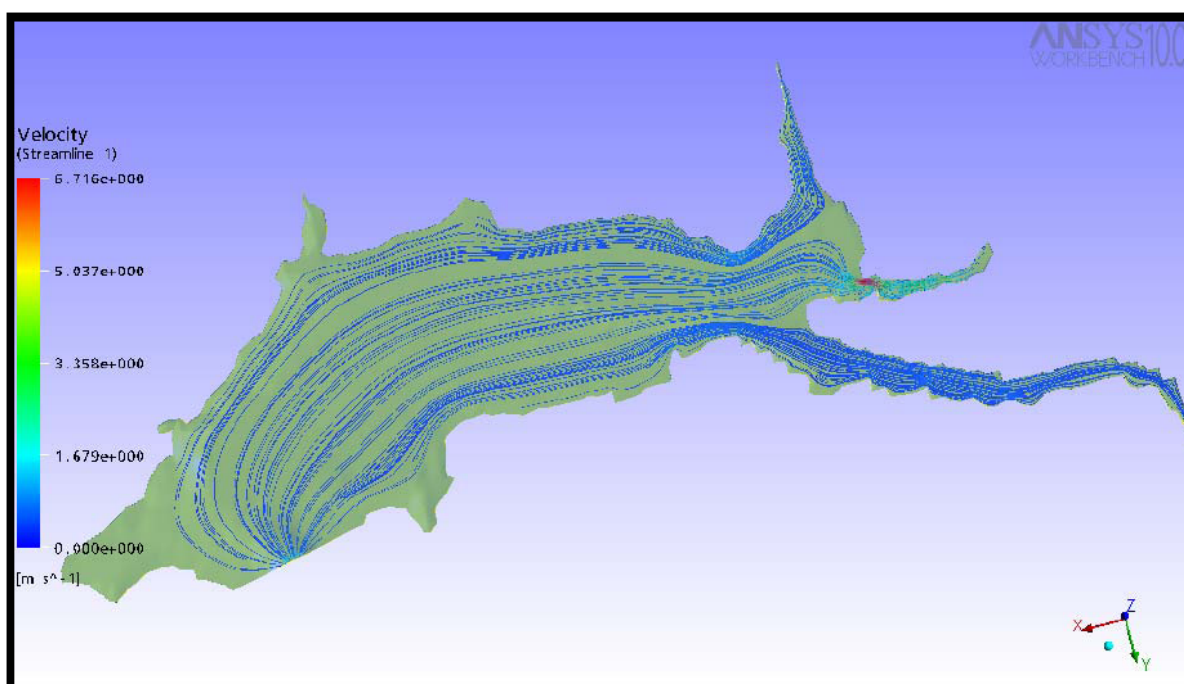


Figura 1. Líneas de corriente para el caudal de Avenida de Proyecto
(Fuente: Proyecto Constructivo)

La forma final del polígono que encierra la superficie elegida viene determinada al conjugar los requerimientos anteriores con el espacio disponible en el Laboratorio.

3. REPLANTEO Y CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

En primer lugar, se selecciona la ubicación idónea para la construcción del nuevo modelo.

A continuación, se procede a la demolición de antiguas infraestructuras que ocupan el espacio seleccionado para la ubicación del nuevo modelo.

Una vez realizada la demolición, se replantea el recinto seleccionado con los criterios expuestos en el apartado anterior por topografía clásica mediante triangulación –

empleando cinta métrica y un medidor láser– y se ejecuta la infraestructura consistente en una solera de hormigón de unos 6 cm de espesor (**Figura 2**) con una pequeña pendiente que permita el drenaje de posibles filtraciones y en un muro perimetral de 80 cm de altura, creando de este modo el recinto que deja inscrita la superficie seleccionada para la ejecución del modelo.



Figura 2. Construcción de la infraestructura

La solera del recinto, una vez finalizada, representa la cota 145 m.s.n.m.

Adosada al recinto se construye una cubeta de tranquilización con el fin de recibir, por un lado, el caudal impulsado por la bomba procedente del depósito subterráneo y por otro lado, y a través de una hilera de ladrillos de panal, alimentar al modelo permitiendo una entrega de caudal tranquila y uniformemente repartida.

El muro perimetral se deja abierto en el lado del polígono que representa la última sección aguas abajo del modelo, por donde el caudal circulante sale del recinto para regresar por un canal de retorno al depósito.

En la **Figura 3** se observan los distintos elementos que componen la infraestructura descrita en párrafos anteriores.



Figura 3. Elementos de la infraestructura

Por último, se dota a la infraestructura de un sistema de drenaje (**Figura 4**) para evacuar –y así evitar subpresiones indeseadas– el agua del modelo que inevitablemente se infiltra a través de alguna junta. Dicho sistema consiste en perforar la parte baja del muro perimetral en puntos de acumulación y conducciones de PVC hasta el depósito subterráneo.



Figura 4. Sistema de drenaje

4. REPLANTEO, COLOCACIÓN Y HORMIGONADO DE PLACAS DE ACERO BAJO MODELO

Una vez se finalicen todos los trabajos con el modelo físico, y con el objetivo de transportar parte del modelo –entorno inmediato al cuerpo de presa y parte del cauce aguas abajo– a una sala de exposiciones en el propio azud de Terrateig, se requiere la colocación de cuatro placas de acero sobre la solera del recinto que alberguen dicha parte del modelo.

La instalación de las placas se lleva a cabo en dos fases: replanteo previo mediante triangulación de los vértices de las mismas sobre la losa de hormigón (**Figura 5**) y colocación mediante grúa móvil (**Figura 6**).



Figura 5. Replanteo de las placas de acero



Figura 6. Colocación de las placas de acero

Las placas tienen forma de bandeja para poder hormigonarlas y así permitir la fijación mecánica de los bloques de porexpan al hormigón. El sistema de fijación de bloques se desarrolla en el **apartado 7** del presente anejo.

El canto de las placas es de 10 cm, por lo que tanto para el cuerpo de presa como para los bloques de porexpan que sean colocados sobre ellas, la cota de referencia es la 150 m.s.n.m. y no la cota 145 como en el resto del modelo.

En puntos estratégicos del contorno de cada placa, se dejan preparados en taller unos taladros que permitan roscar ganchos para su izado con grúa telescópica sobre camión.

5. MECANIZADO DE LOS BLOQUES DE POREXPAN

La base morfológica del modelo –la geomorfología del vaso y del cauce de reintegro– se obtiene mediante el mecanizado de bloques de porexpan (poliestireno expandido) con un robot al que se le acopla un útil de corte.

Se elige el porexpan por su mejor comportamiento a la intemperie y por su menor coste frente a otros materiales. También se opta por este material por su suministro: el

porexpan puede ser suministrado en bloques de 1x1x0,5 m, tamaño que hace más cómodo, rápido y eficaz su mecanizado.

Este trabajo es realizado por técnicos del Instituto para el Diseño y la Fabricación (IDF) de la Ciudad Politécnica de la Innovación de la Universidad Politécnica de Valencia.

Se proporciona al IDF un archivo de Autocad en tres dimensiones con la cartografía del área a reproducir a escala de modelo (1/50), discretizada en curvas de nivel cada medio metro, dividida en una malla de 174 rectángulos de dimensiones 1x0.5 m, que son las dimensiones en planta de cada bloque de porexpan (

Figura 7). A continuación se exportan las curvas de nivel al programa avanzado CAD-CAM UNIGRAPHICS-NX para generar la superficie que representa la topografía (**Figura 8**). Tras una extrusión bloque a bloque recortado con la superficie recortada se precede al mecanizado de los mismos (**Figura 9**).

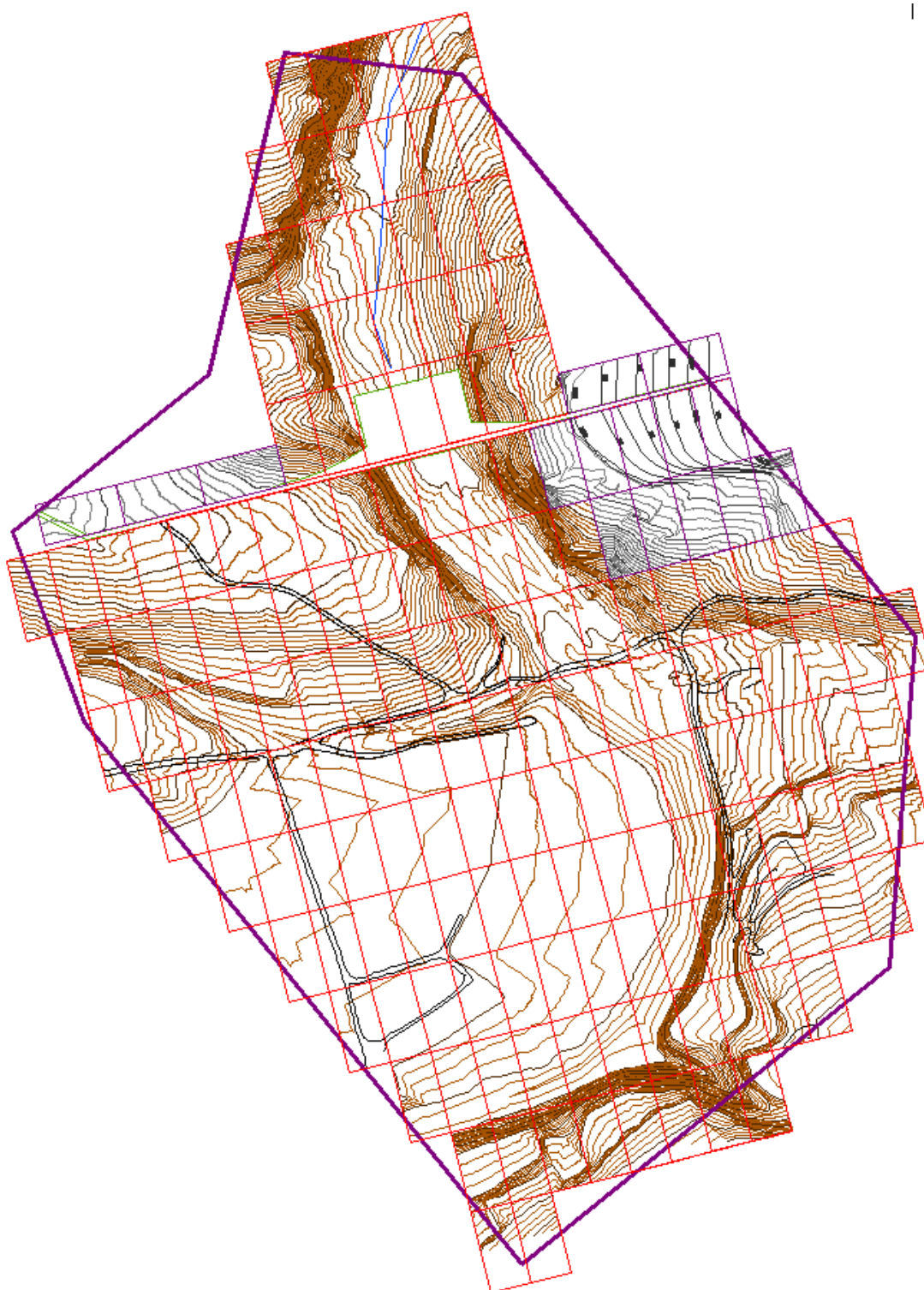


Figura 7. Cartografía del modelo y distribución en planta de los bloques de porexpan.

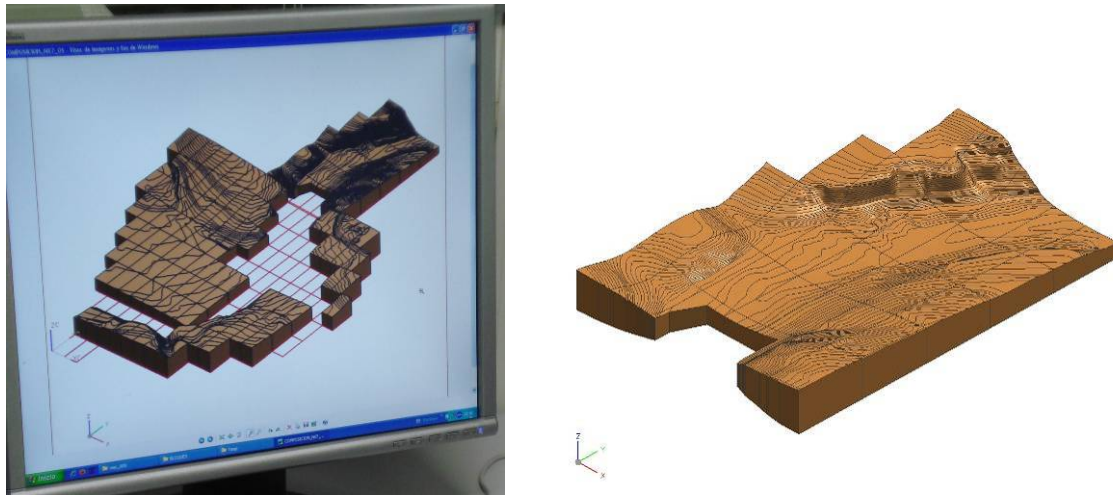


Figura 8. Imágenes del UNIGRAPHICS-NX



Figura 9. Mecanizado de bloques

Conforme los bloques van siendo mecanizados, se trasladan a las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica con el fin de ser almacenados hasta su colocación en el modelo (**Figura 10**).



Figura 10. Almacenaje de bloques

6. CIRCUITO HIDRÁULICO DE ALIMENTACIÓN Y RETORNO DE CAUDALES

Como infraestructura de transporte de caudales se construye un circuito hidráulico de alimentación y retorno de caudales al modelo físico partiendo del depósito subterráneo del Laboratorio de Hidráulica y Obras Hidráulicas del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (DIHMA) de la Universidad Politécnica de Valencia, tal y como se esquematiza en la **Figura 11**.

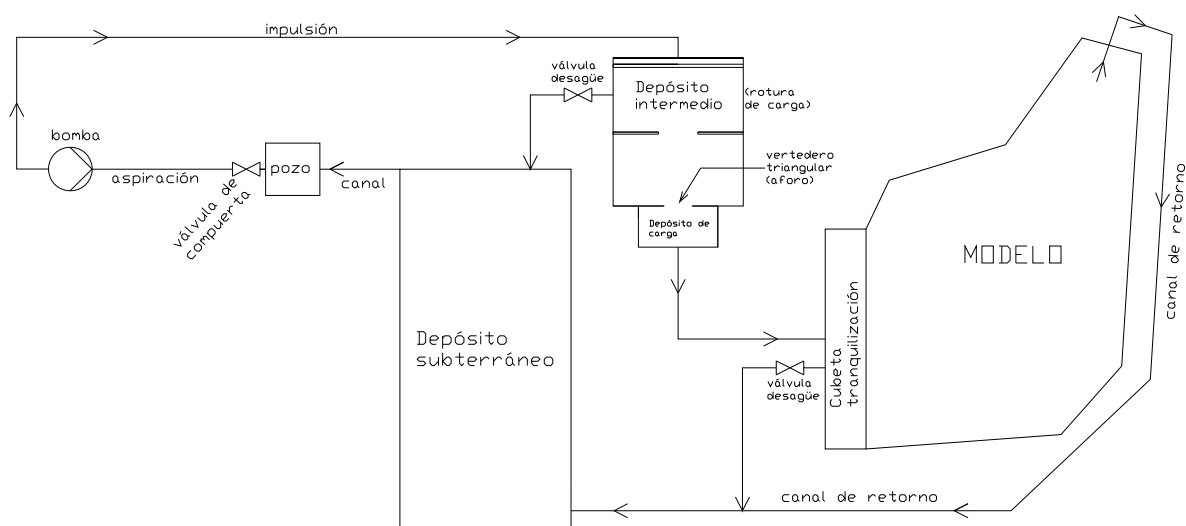


Figura 11. Esquema del circuito hidráulico

En esta infraestructura se aprovecha parte de las instalaciones generales existentes en el Laboratorio de Hidráulica. Éstas son las siguientes:

- Depósito subterráneo ubicado en el exterior del recinto cubierto del Laboratorio de Hidráulica, con una capacidad de 300 m³ y dispositivos auxiliares para desagüe de fondo y aliviaderos conectados al sistema de recirculación.
- Canal de enlace depósito – pozo de aspiración (también totalmente subterráneo), finalizando en el interior del Laboratorio de Hidráulica, junto al grupo electrobomba que realiza la aspiración del caudal requerido.
- Sistema de aspiración – impulsión, constituido por los siguientes componentes:
 - Tubería de aspiración de fibrocemento, de diámetro exterior 200 mm
 - Grupo electrobomba. Las características principales de este elemento son:
 - Caudal máximo: 136,11 l/s
 - Potencia: 37 kW / 50 Hp
 - Velocidad nominal: 1.460 rpm
 - Frecuencia: 50 Hz
 - Factor de potencia: $\cos \varphi = 0,86$
 - Tubería de impulsión de fibrocemento de diámetro exterior de 300 mm, con diversas válvulas compuertas para regulación y control de los caudales de salida hacia el modelo físico.
- Depósitos superficiales. La tubería de impulsión conduce el agua bombeada desde el depósito subterráneo hasta un primer depósito superficial de obra de 2,5 m de alto, el cual presenta en su parte más alta dos compuertas por las que deja salir el agua (**Figura 12**), alimentando por gravedad una cubeta de tranquilización previa a otro depósito que simula el vaso del antiguo modelo físico de la presa de Beniarrés, modelo que se encuentra a 1,20 m de altura. Al atravesar dicha presa, el agua llena un segundo depósito que está a 1 m de altura, en la salida del cual se dispone un vertedero de hormigón en pared delgada de $\alpha=90^\circ$ y $h=35$ cm capaz de verter hasta 100 l/s que, junto con la instalación en un lateral

del depósito de un tubo piezométrico con el cero de referencia a la misma altura que el vértice inferior del vertedero, permite el aforo del caudal que alimenta el modelo de Terrateig (**Figura 13**).



Figura 12. Primer depósito superficial



Figura 13. Depósitos superficiales y tubo piezométrico

- Depósito de carga. El caudal que atraviesa el vertedero cae a un último depósito, éste ya a nivel del suelo, con el que se termina de salvar el desnivel entre el primer depósito y el modelo físico.

El depósito de carga permite que el agua entre en presión a una tubería de PVC de diámetro 315 mm que se conecta por un lado a dicho depósito (**Figura 14**) y por el otro con la cubeta de recepción del modelo, en la que se instala una pieza de PVC en forma de T que permite un reparto equitativo de caudal a lo largo de toda la cubeta (**Figura 15**).



Figura 14. Depósito de carga



Figura 15. Conexión tubería PVC con cubeta de recepción

El muro de la cubeta de recepción que separa la misma del recinto del modelo se realiza con ladrillo perforado (de panal) colocado a panderete horizontal (**Figura 15**) para permitir la salida del agua.

Con el fin de disponer de las máximas garantías, tanto de suministro de los caudales necesarios como en la regulación de los mismos, se realiza una instalación auxiliar de tuberías –con el equipamiento hidráulico necesario– desde el interior del Laboratorio de Hidráulica hasta el exterior, donde se encuentra el modelo físico (**Figura 16**).



Figura 16. Circuito hidráulico auxiliar para alimentación fina de caudales

Una vez alimentado el modelo, el caudal abandona el recinto por el extremo de aguas abajo en el sentido del flujo –donde el recinto queda sin cerrar por el muro perimetral– y salta a un primer canal de retorno a menor cota que la solera del recinto para evitar efectos de remanso (**Figura 17**).



Figura 17. Retorno de caudales

A su vez, este primer canal conduce el agua hasta otro segundo canal que está a menor cota que el primero, finalizando en una reja conectada al depósito subterráneo, cerrando así el circuito hidráulico.

Una vez se ejecuta completamente el circuito hidráulico de alimentación y retorno definido, se prueba en vacío –sin modelo–, verificando tanto la satisfacción de los caudales requeridos, a la escala adecuada y con suficiente aproximación, como las condiciones de entrada a la zona del vaso del embalse aguas arriba y la no interferencia en las condiciones de desagüe del cauce de reintegro aguas abajo.

Se verifica a su vez que con el dispositivo creado en cabecera de modelo en la zona de alimentación del mismo –cubeta de recepción–, se produce una alimentación equilibrada, uniformemente repartida y suficientemente tranquila (**Figura 18**).

Todo ello, cuando la geomorfología del vaso del embalse esté completamente dispuesta, hará que se generen unas condiciones del flujo de aproximación en las inmediaciones de aguas arriba del cuerpo de presa perfectamente asimilables a las reales.



Figura 18. Alimentación en vacío

7. RECEPCIÓN Y COLOCACIÓN DE LOS BLOQUES MECANIZADOS

Una vez se reciben en las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica todos los bloques que el IDF mecaniza conforme a la topografía de la zona de actuación, se organizan por hileras o tajos para su colocación en el modelo tras el replanteo previo de la malla rectangular, que en planta fija su posición dentro del vaso del embalse.

La puesta en obra inicial se realiza mediante fijación química con un adhesivo para molduras, como paso previo a la fijación mecánica definitiva. Tras esta primera fijación, se les da una primera capa de pintura plástica impermeabilizante (**Figura 19**).



Figura 19. Colocación y pintado de bloques

El siguiente paso consiste en estabilizar los bloques con una fijación mecánica mediante varillaje –cuyo cálculo se desarrolla en el siguiente subapartado–.

Para ello, se efectúan unos orificios cilíndricos calentando con el soplete una varilla en cuyo extremo tiene soldada una arandela, con el fin de producir un pequeño vaciado en el porexpan que albergue la arandela y la tuerca de cada varilla.

A continuación, con un taladro y una broca de 1 m de longitud se realizan las perforaciones en los bloques de porexpan hasta introducir la broca en la losa de hormigón.

Seguidamente se introducen las varillas –roscándolas hasta abrir el taco de latón en la losa–, se corta la longitud sobrante con una radial, se pasan las arandelas y se aprietan las tuercas (**Figura 20**).

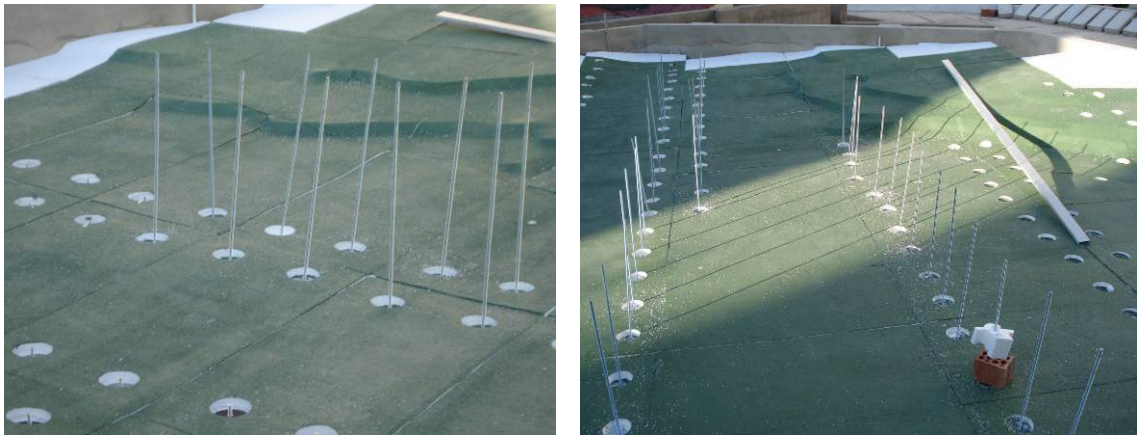


Figura 20. Fijación mecánica de los bloques

Por último, dicho vaciado se rellena con un mortero de cemento. De este modo se consigue, no solo mejorar la estética del modelo, sino que además no se obstaculiza el flujo de agua.

Posteriormente –tras la fijación mecánica–, para suavizar las juntas entre bloques, se dispone una malla autoadhesiva tapagrietas cubriéndola de pintura antigotera (**Figura 21**) y finalmente se le vuelve a dar una segunda y tercera capa de pintura para homogeneizar el conjunto.



Figura 21. Suavizado de juntas

Una vez instalados los bloques de porexpan colindantes al muro de la cubeta de recepción, queda marcado sobre el mismo la superficie del terreno. De este modo, todos los orificios que quedan por debajo de dicha superficie se pueden sellar –evitando así filtraciones de agua bajo los bloques– y los que quedan por encima permiten una entrada amortiguada del agua al modelo (**Figura 22**).



Figura 22. Sellado de orificios

Para permitir el trabajo en la construcción del cuerpo de presa, la colocación de los bloques de porexpan de aguas abajo del mismo se lleva a cabo al finalizar dicha fase.

Al bloque inmediatamente aguas abajo del cuenco semisumergido se le practica un cajeado que permite la colocación de dos capas de grava de diámetro medio (Dm) 20 mm, simulando de este modo la escollera de protección del lecho del cauce.

7.1. CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD DE LOS BLOQUES

Para asegurar la unión de los bloques de porexpan a la solera del recinto y evitar así problemas de flotación por subpresión del agua infiltrada, se realizan diferentes pruebas tanto en seco como en mojado y con diferentes materiales.

Las primeras pruebas se realizan en seco y se ensayan dos adhesivos químicos: la espuma de poliuretano y un adhesivo para molduras. Es el adhesivo para molduras el que ofrece una mayor resistencia al arranque y se opta por este material como elemento de unión. Asimismo, la espuma de poliuretano se utiliza para el relleno de las posibles juntas entre bloques, debido a su poder expansivo.

Para comprobar la resistencia en mojado, en una cubeta de hormigón se coloca un bloque utilizando el adhesivo para molduras para asegurar la unión esperándose un par de días para que el adhesivo adquiriera su máxima resistencia. La cubeta se llena con agua y se puede comprobar que en cuanto se alcanza una pequeña altura de agua, de unos cuatro centímetros, el bloque se despegaba debido a la presión que ejerce el agua en la base del bloque.

Este hecho hace pensar en otro tipo de adhesivo o en otro tipo de unión. Se repite la operación de llenado de la cubeta utilizándose en este caso un adhesivo resistente al agua de la casa comercial Sika, pero se obtiene el mismo resultado.

A la vista de los resultados, se opta por diseñar una fijación de tipo mecánico formada por una varilla roscada de acero que, atravesando el bloque verticalmente, se introduce en la losa de hormigón. En la punta de la barra se coloca un taco de latón para asegurar la unión losa-varilla (**Figura 23**).



Figura 23. Tacos de latón

El mecanismo de este taco consiste en ir abriéndose a medida que la varilla se va roscando y así se va embebiendo en la losa de hormigón, como se aprecia en la **Figura 24**.

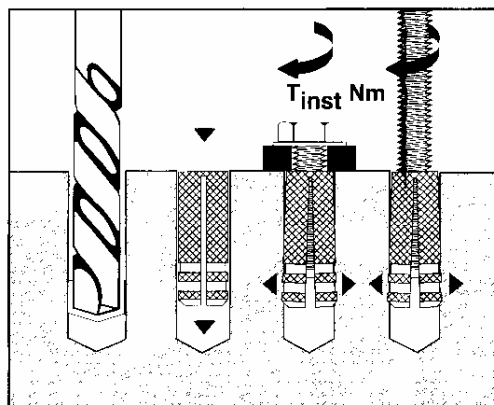


Figura 24. Mecanismo de funcionamiento del taco

Para calcular el número de varillas que son necesarias por cada bloque de porexpan y el diámetro de las arandelas, se supone un mecanismo resistente similar a un pilote trabajando por fuste –que posteriormente se verifica de manera experimental en un ensayo de rotura– de diámetro igual al de la arandela, al que llamamos barra (**Figura 25**).

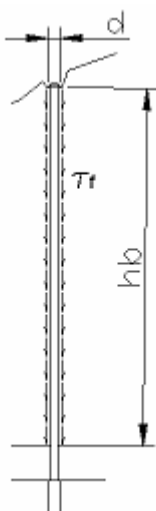


Figura 25. Mecanismo resistente

De este modo, el esfuerzo resistido por la barra se calcula como:

$$R_f = \tau_f \cdot \pi \cdot d \cdot h_b$$

Siendo d el diámetro de la arandela y h_b la longitud media de cada barra.

Para calcular el valor de la resistencia unitaria por el fuste (τ_f) se realiza un ensayo en rotura, colocando un bloque mecanizado en la misma cubeta apoyándolo en bardos de 4 cm de espesor para asegurar las máximas subpresiones en la base.

Para la sujeción se utilizan dos varillas roscadas de 8 mm de diámetro centradas en el bloque y arandelas de 50 mm de diámetro.

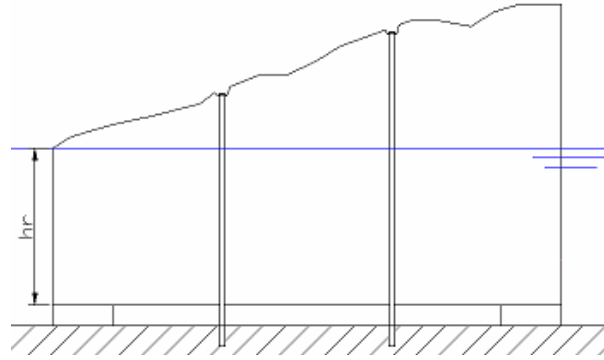


Figura 26. Esquema del ensayo

El esfuerzo solicitante se calcula como:

$$F = P \cdot S$$

Donde S es la superficie de la base del bloque e igual a $0,5 \text{ m}^2$ y P es la presión ejercida calculada como:

$$P = \gamma_w \cdot h_r$$

Siendo γ_w el peso específico del agua e igual a $9,81 \text{ KN/m}^3$ y h_r el nivel del agua respecto a la base del bloque de porexpan (**Figura 26**).

A continuación, se va llenando la cubeta y cuando aproximadamente el nivel del agua esta en unos 25 cm, el bloque comienza a moverse hasta que se alcanza una altura de agua de unos 35 cm, en la que se produce el fallo total de la unión.

Igualando el esfuerzo solicitante en cada una de las barras (se supone la mitad para cada barra) con el esfuerzo resistido, se obtiene un intervalo de valores para la resistencia unitaria por el fuste (τ_f) entre 7,8 y $11,6 \text{ kN/m}^2$. El primero de los valores se corresponde al inicio del movimiento del bloque ($h_r = 20 \text{ cm}$) y el segundo al fallo total ($h_r = 30 \text{ cm}$), para una longitud media de la barra (h_b) de 0,41 m

Se repite el ensayo en rotura para precisar el valor de la resistencia unitaria por el fuste (τ_f). Para ello se realiza otro ensayo en otro bloque con dos varillas también de 8 mm de diámetro, pero ahora con arandelas de diámetro $d = 70 \text{ mm}$

En este caso, cuando el nivel del agua es aproximadamente de unos 35 cm se produce el fallo de la unión para una longitud media de las barras (h_b) de 0,33 m

Igualando de nuevo los esfuerzos, se obtiene un valor de $\tau_f = 10,2 \text{ kN/m}^2$, valor muy próximo al valor medio del intervalo anterior y que se toma como valor de la resistencia unitaria por al fuste (τ_f).

Como los niveles de agua que deben soportar los bloques durante los ensayos superan en ocasiones los 35 cm (nivel aproximado para el que se obtiene el valor de la resistencia unitaria por el fuste) se procede al dimensionamiento de la unión, determinándose tanto el número de varillas como el diámetro de las arandelas que es necesario colocar para resistir los esfuerzos.

Para un nivel relativo de agua $h_r = 50 \text{ cm}$, que es el nivel medio máximo esperable y una longitud media de barra (h_b) de 0,35 m, valores correspondientes a la situación más desfavorable que se puede esperar, se trata de determinar el diámetro mínimo de las arandelas.

Adoptando un coeficiente de seguridad igual a la unidad para la resistencia unitaria por el fuste (τ_f), y en función del número de varillas a colocar, se obtienen los diámetros (d) de arandela que se muestran en la **Tabla 1**:

Tabla 1. Diámetro de arandela en función del número de varillas		
Nº de varillas	Diámetro (cm)	Diámetro comercial (cm)
2	11,14	12
3	7,43	8
4	5,57	6

Para estar del lado de la seguridad se decide colocar 4 varillas de diámetro 8 mm por cada bloque de porexpan.

Cada varilla se fija con una única arandela (troqueladas expresamente para este modelo) de 90 mm de diámetro exterior y 8,4 mm de diámetro interior.

8. CONSTRUCCIÓN DEL CUERPO DE PRESA

La construcción del cuerpo de presa se lleva a cabo en distintas etapas, utilizando para todas ellas unas plantillas ploteadas en papel continuo A1 con las distintas secciones, obtenidas a partir de los Planos del Proyecto Técnico.

Se adopta un proceso constructivo que permita la fabricación del mayor número de elementos en el taller del Laboratorio –para no depender de las inclemencias del tiempo–,

teniendo en cuenta variables como el peso de cada pieza a ejecutar y complejidad de los encofrados.

El hormigón utilizado en la construcción de la presa se realiza con una relación 1:4 en peso de cemento Portland (CEM II/B-M (V-LL) 32,5 N) y arena negra. Se emplea un aditivo fluidificante, acelerante y plastificante en una proporción del 1% en peso de cemento.

- **Etapla 1:** Fabricación del aliviadero número 1 (A1), formado por dos vanos de 25 m cada uno (50 cm a escala de modelo).

A la vista de la sección de cuerpo de presa por el aliviadero A1 se adopta la división de dicha sección en las partes representadas en la **Figura 27**.

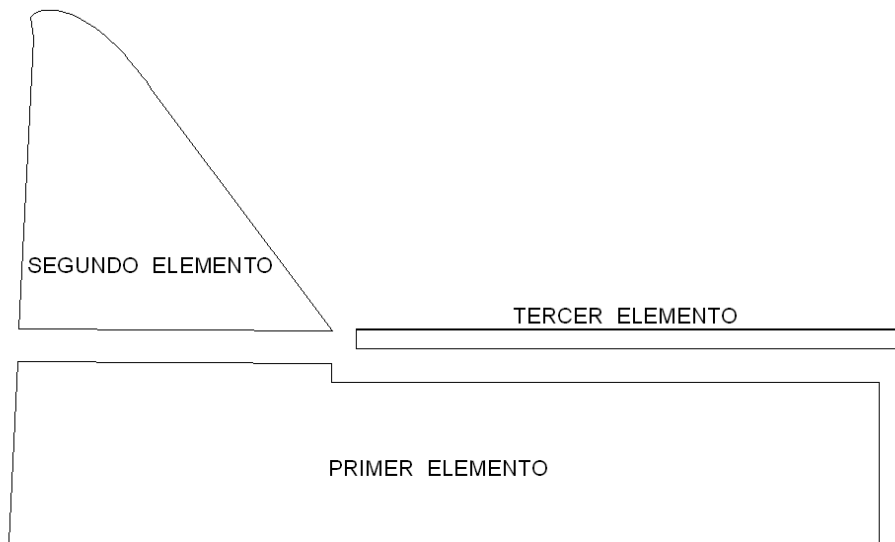


Figura 27. División de la sección por aliviadero A1

De este modo, por la simplicidad constructiva del primer elemento se decide ejecutarlo directamente sobre el modelo.

Para ello, y tras un replanteo previo de la planta de la presa sobre las bandejas de acero hormigonadas, se realiza un encofrado con tablonos de madera y se fija –como unión del primer elemento al hormigón de las bandejas– cuatro tornillos de grandes dimensiones, dejando fuera parte de los mismos para que queden embebidos en dicho elemento una vez se hormigonen (**Figura 28**).



Figura 28. Primer elemento del aliviadero A1

Como el segundo elemento requiere un encofrado más laborioso (**Figura 29**), se realiza en el taller del Laboratorio.

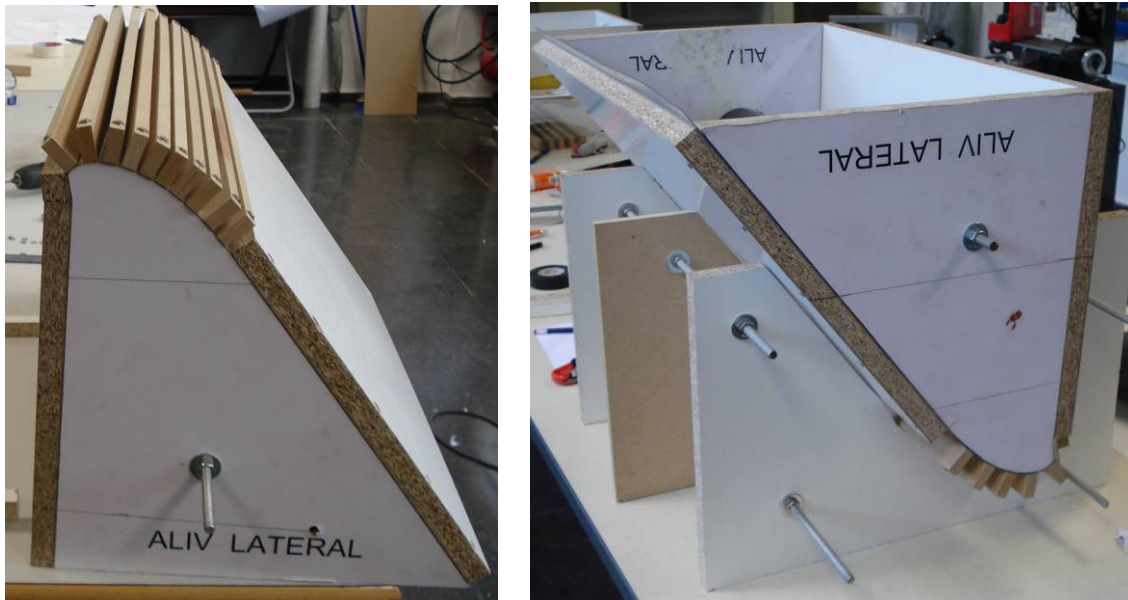


Figura 29. Encofrado del segundo elemento aliviadero A1

Tras el hormigonado y posterior desencofrado (**Figura 30**) se colocan sobre el primer elemento uniéndolo al mismo con un adhesivo químico y con unas barras metálicas dobladas en forma de S, comprobando la horizontalidad con un nivel y las cotas con la ayuda de un nivel óptico (**Figura 31**).



Figura 30. Hormigonado y desencofrado segundo elemento aliviadero A1



Figura 31. Colocación segundo elemento

El generar el tercer elemento de la **Figura 27** no es en realidad un problema constructivo, sino una previsión de posible medida correctora –objeto también del presente documento– del mal funcionamiento hidráulico del aliviadero A1.

Dicha previsión se basa en que si en fase de ensayos, el resalto hidráulico se produce fuera del cuenco –la revisión del Anejo de Cálculo Hidráulico del Proyecto Técnico ya hace pensar que así será– una medida correctora podría ser el rebajamiento de la cota de solera del cuenco, que es factible en la realidad porque el cuenco está proyectado como una gran losa de 5 m de espesor –muy por encima de valores habituales en este tipo de elementos– y se puede pensar en reducir el mismo.

Adoptar esta medida en el modelo consiste simplemente en hacer desmontable la parte superior de la solera atornillando placas de plexiglás.

Los dientes del umbral terminal de cada cuenco de resalto se fabrican con la fresadora en una sola pieza de plexiglás (**Figura 32**), atornillándola a las placas de plexiglás que simulaban la solera del cuenco de resalto.

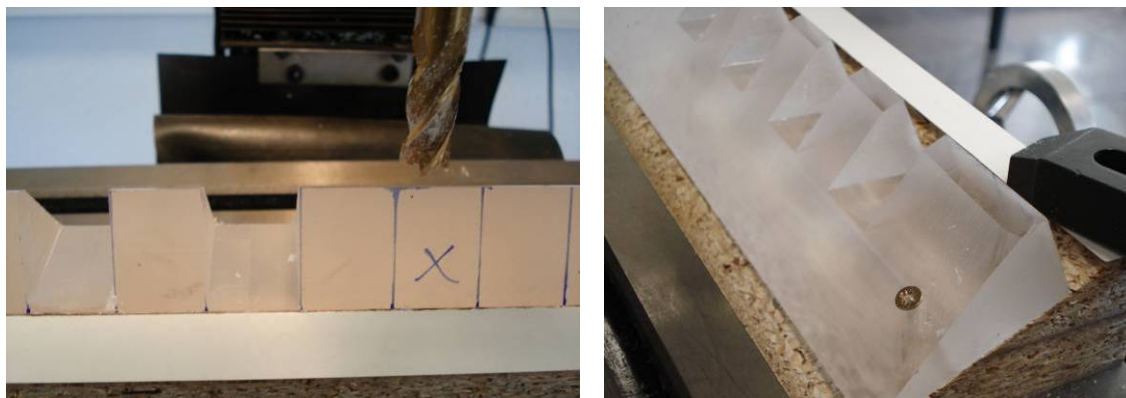


Figura 32. Dientes umbral terminal

- **Etapla 2:** Fabricación conjunta de los aliviaderos número 2 y 3 (A2 y A3), que constituyen la parte central del cuerpo de presa con un único vano de 10 m de anchura (20 cm a escala de modelo).

Se realiza íntegramente en el taller del Laboratorio, ejecutando un encofrado para cada una de las dos partes en las que se divide la sección central de la presa (**Figura 33**).

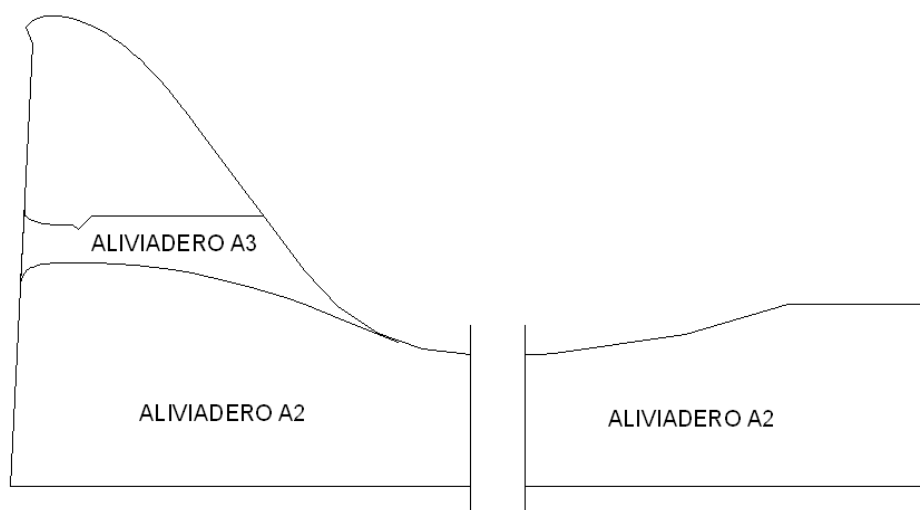


Figura 33. División de la sección central de la presa

El diseño original del aliviadero A3 es sustituido por uno totalmente nuevo, más complejo en su ejecución pero más eficiente hidráulicamente. El cálculo hidráulico del nuevo diseño se desarrolla en el **apartado 4.3** del **Anejo 2**.

Análisis hidráulico de la solución de proyecto y la definición geométrica completa en el **Documento II Planos**.

El primer paso consiste en construir con plexiglás y láminas de plástico una pieza (**Figura 34**) que permita, una vez fijada en el interior del encofrado del aliviadero A2 (**Figura 35**) y tras el hormigonado, generar un hueco que reproduzca fielmente el órgano de alivio de nuevo diseño.

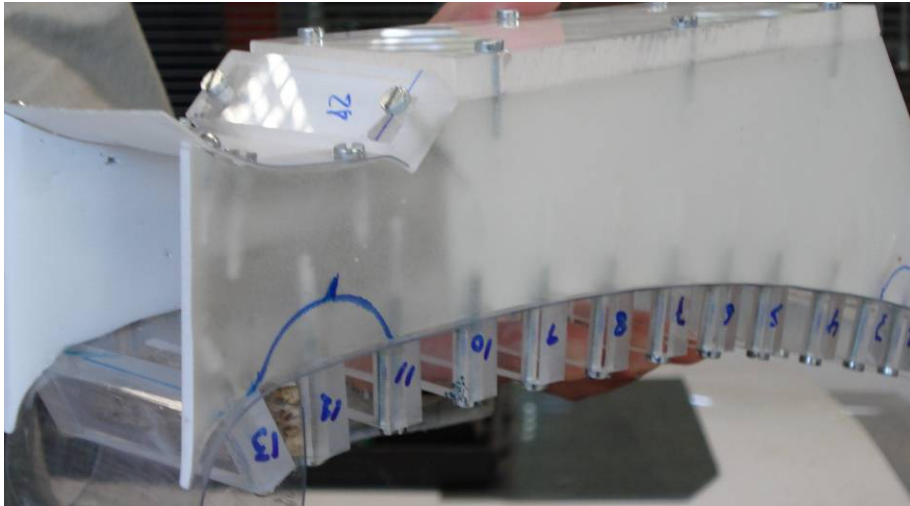


Figura 34. Aliviadero A3



Figura 35. Colocación aliviadero A3

Para el caso en el que se quisiera evaluar el efecto de la aireación, se instalan dos tubos de cobre que conectan el aliviadero A3 con el exterior del modelo. Uno de los orificios modela la aireación de dicho aliviadero y el otro permite la medida de presiones en el interior del mismo (**Figura 36**).

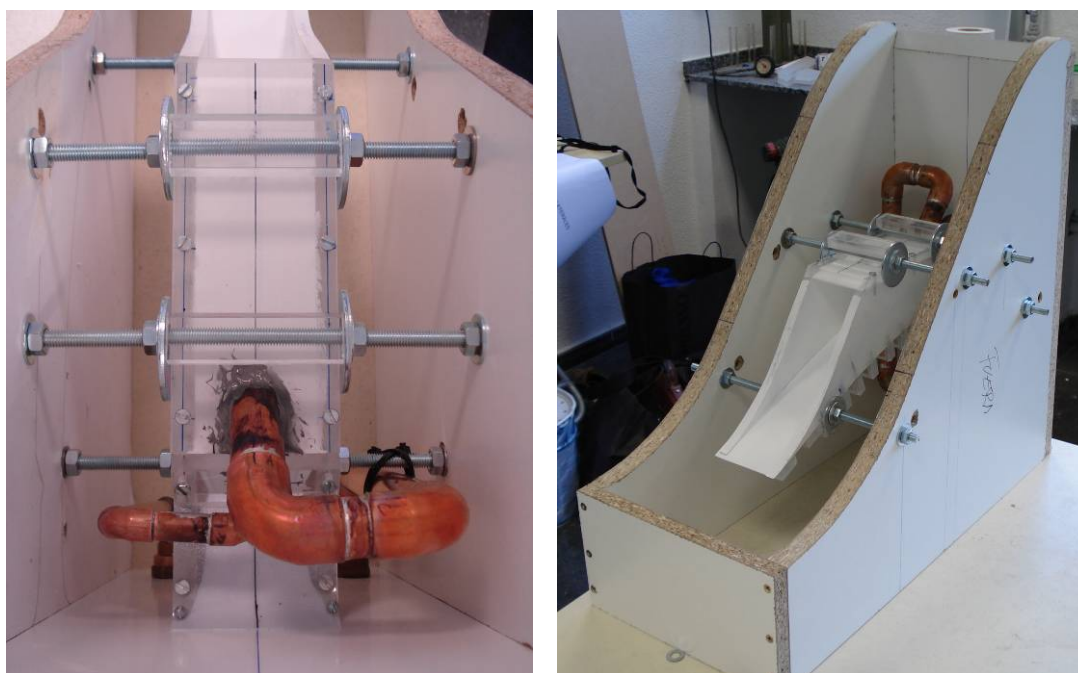


Figura 36. Conexión tubos de cobre

Tras cuatro días desde el hormigonado, se desencofra y coloca en el modelo verificando cotas con la ayuda del nivel óptico (**Figura 37**).



Figura 37. Colocación en modelo del aliviadero central

- **Etapla 3:** Fabricación de muros cajeros.

Los muros cajeros intermedios se realizan cortando placas de plexiglás de 2 cm de espesor.

En previsión también de posibles medidas correctoras de un mal funcionamiento hidráulico conjunto, estos muros se cortan en tres partes (**Figura 38**), disponiendo de este modo de unos muros desmontables que permiten ensayar el comportamiento del flujo al quitar la parte de muro en la zona de cuencos o incluso quitar también el tramo de muro cajero en las rápidas.

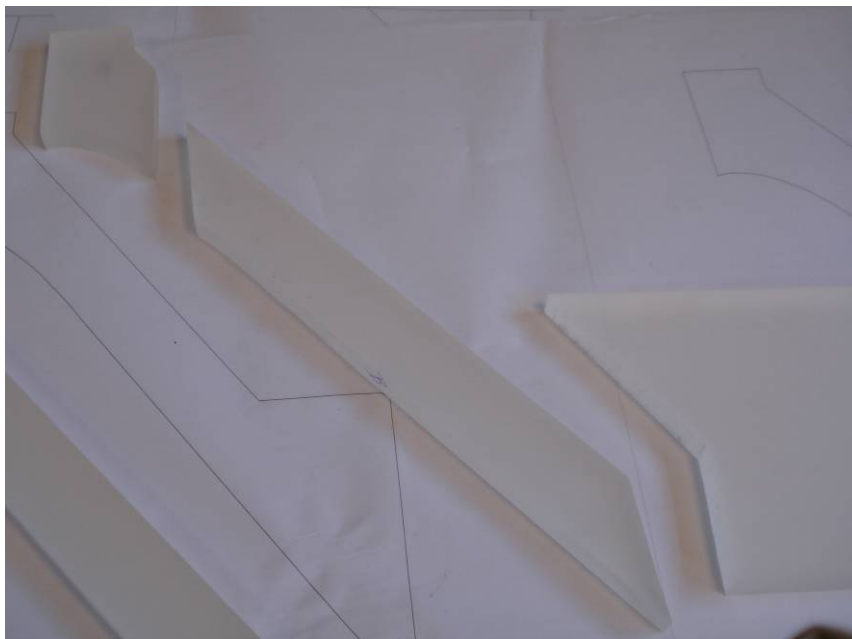


Figura 38. Muros cajeros intermedios

Los muros cajeros laterales, de 3 cm de espesor, se ejecutan en una sola pieza de hormigón con un encofrado de madera. Posteriormente se colocan con un adhesivo químico para hormigón (**Figura 39**).



Figura 39. Muros cajeros laterales

- **Etapas 4:** Fabricación de los estribos.

Los estribos no se ejecutan de una sola pieza, sino realizando varios encofrados de madera iguales y haciendo vertical el paramento de aguas abajo (**Figura 40**).



Figura 40. Estribos

Una vez terminados los estribos, se coloca la hilera de bloques de porexpan cuya ubicación es la inmediatamente aguas abajo de los mismos (**Figura 41**).



Figura 41. Bloques aguas abajo del estribo

A continuación, se procede a replantear la intersección de los muros cajeros laterales con el talud teórico que debe tener el paramento de aguas abajo de los estribos, verificando de este modo que dicho talud finaliza realmente en la

arista superior del bloque. Es decir, que está bien ejecutado y por tanto intercepta al terreno justo donde se define en el Proyecto Técnico.

Por último, se materializa dicho talud con hormigón (**Figura 42**).

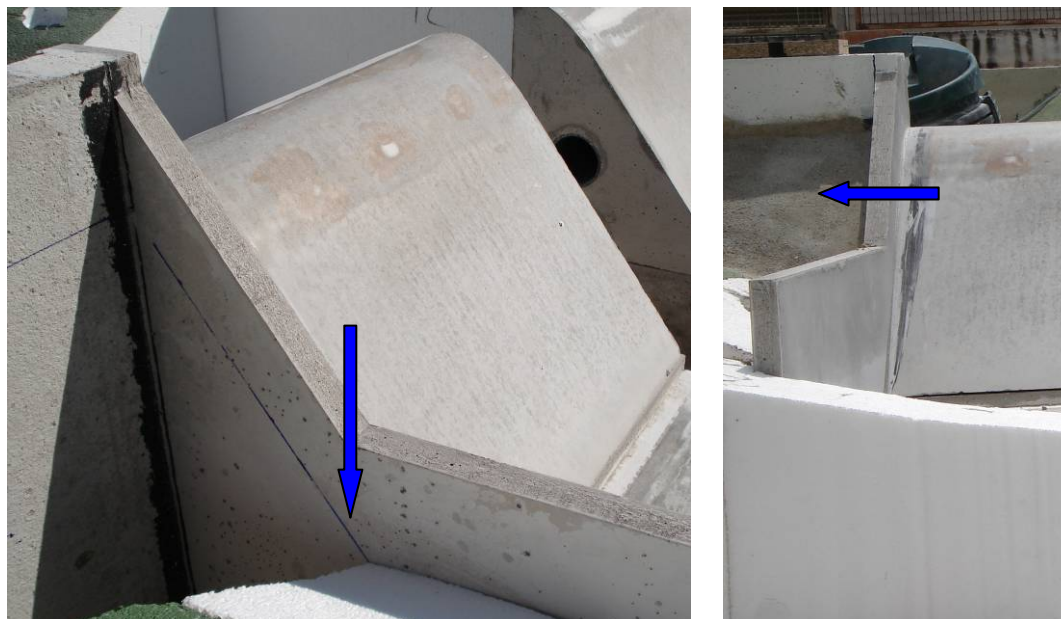


Figura 42. Talud estribo

Cuando se finalizan estas cuatro etapas, se pinta el cuerpo de presa con esmalte blanco y los estribos con pintura plástica blanca, previo masillado y lijado de las imperfecciones de todo el cuerpo de presa (**Figura 43**).

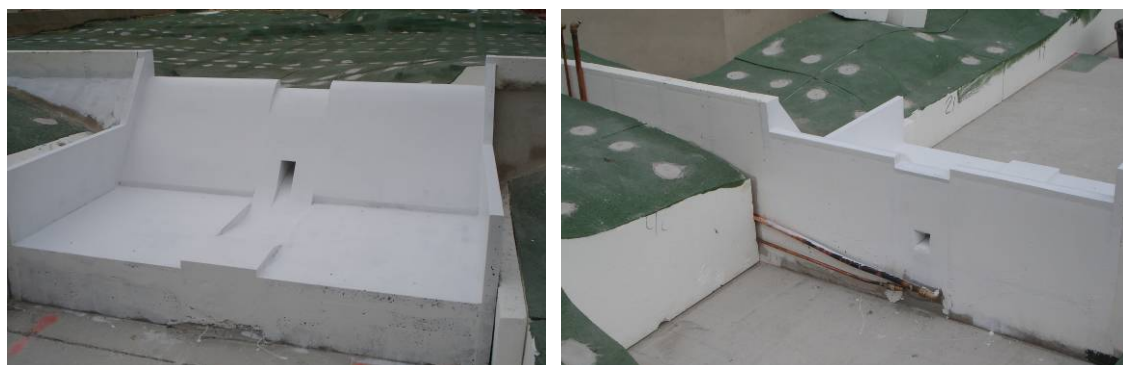


Figura 43. Cuerpo de presa pintado

Por último, se fijan con silicona los muros cajeros intermedios y pequeños elementos fabricados con plexiglás en el taller, como los dientes de pie de rápida del aliviadero A1, los cinco divisores de flujo del cuenco semisumergido, el deflector colocado a modo de visera en la salida del aliviadero A3 y las prolongaciones hidrodinámicas sobre muros cajeros. Para la fabricación de estas últimas se emplean dos materiales distintos: porexpan para las ubicadas sobre muros cajeros laterales y PVC para las divisoras de flujo en muros cajeros intermedios.

Cuando finaliza la construcción del cuerpo de presa, se colocan los bloques de porexpan que van aguas abajo del mismo (**Figura 44**).



Figura 44. Colocación de los últimos bloques

En la **Figura 45** se muestra el resultado que se obtiene tras la aplicación de la última capa de pintura impermeabilizante.

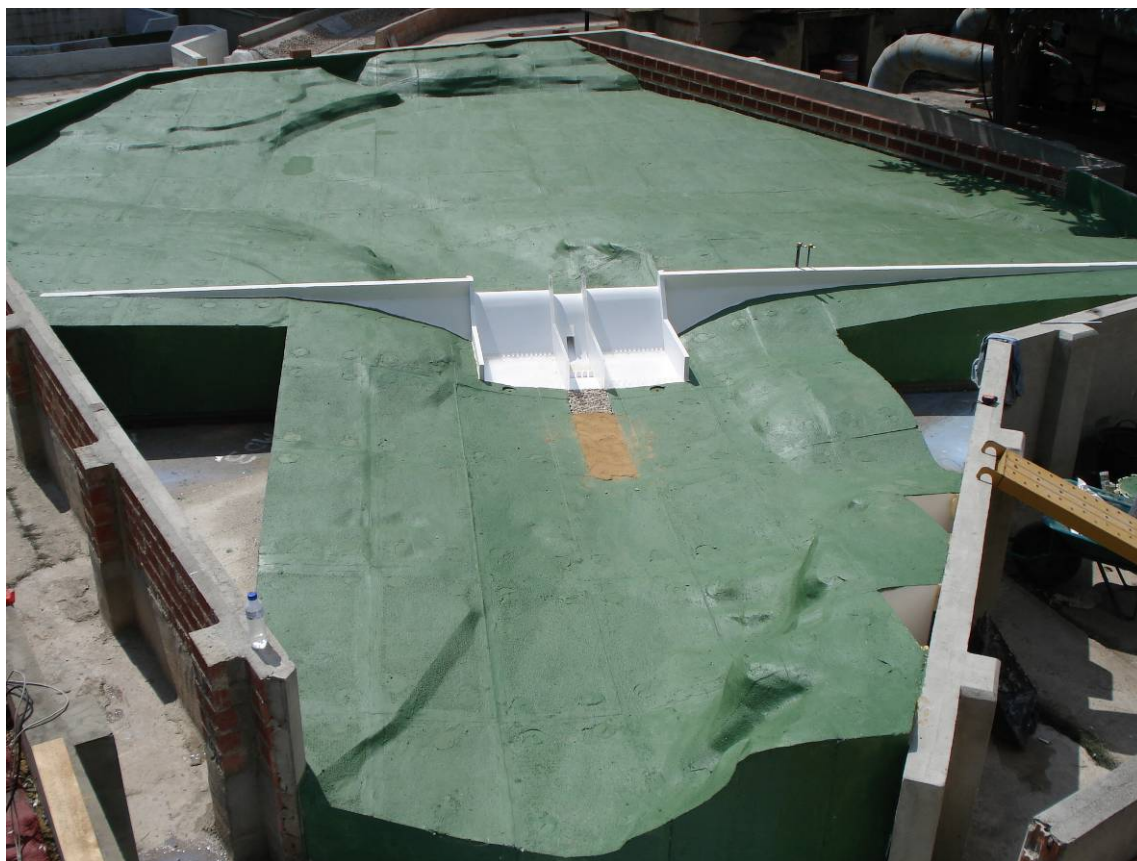


Figura 45. Resultado final

Con el objetivo de poder imponer en los ensayos sobre modelo físico los niveles líquidos requeridos en la zona de reintegro de caudales al cauce, se parapeta la sección de salida del modelo con un tablón regulable en altura (**Figura 46**).

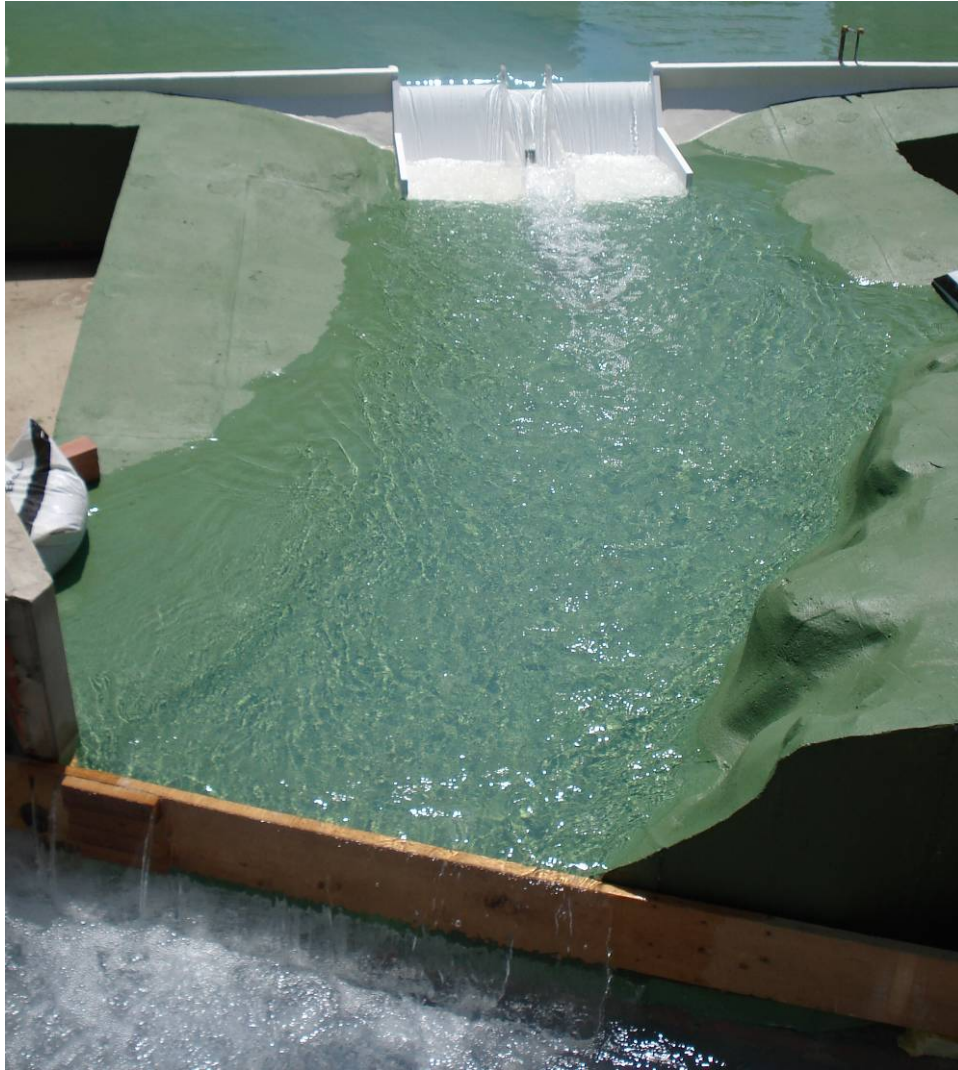


Figura 46. Regulación de los niveles líquidos requeridos

9. ELEMENTOS DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

9.1. VERTEDERO TRIANGULAR EN PARED DELGADA

Los caudales que se han de suministrar al modelo son medidos por un vertedero triangular en pared delgada, diseñado y calibrado según las recomendaciones del Laboratorio de Hidráulica de Delft (Holanda).

A continuación se indican las características principales de esta tipología de vertederos (**Figura 47** y **Figura 48**):

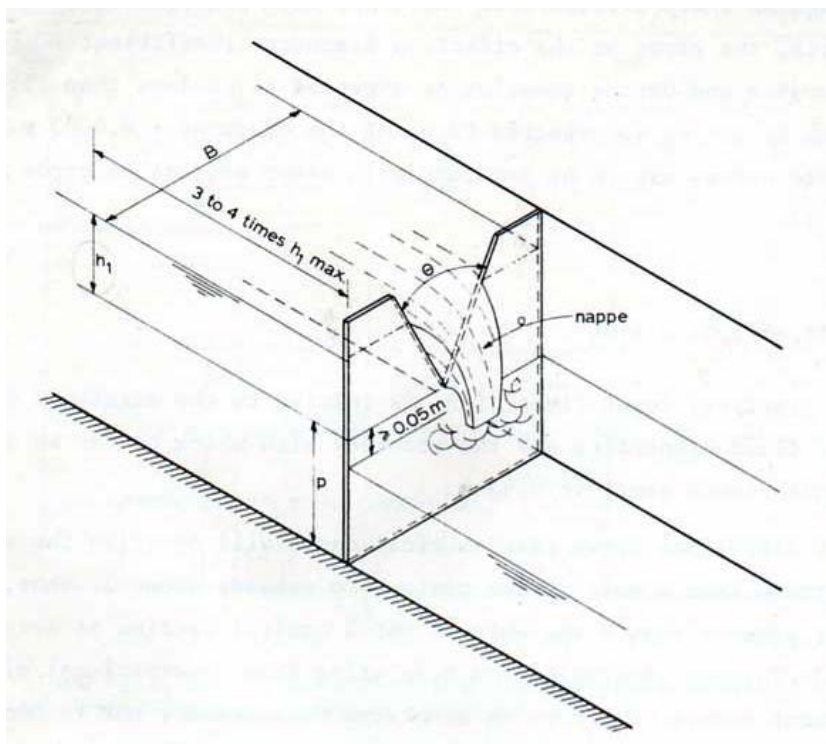


Figura 47. Vertedero triangular en pared delgada
(Fuente: Working Group on Small Hydraulic Structures, 1976)

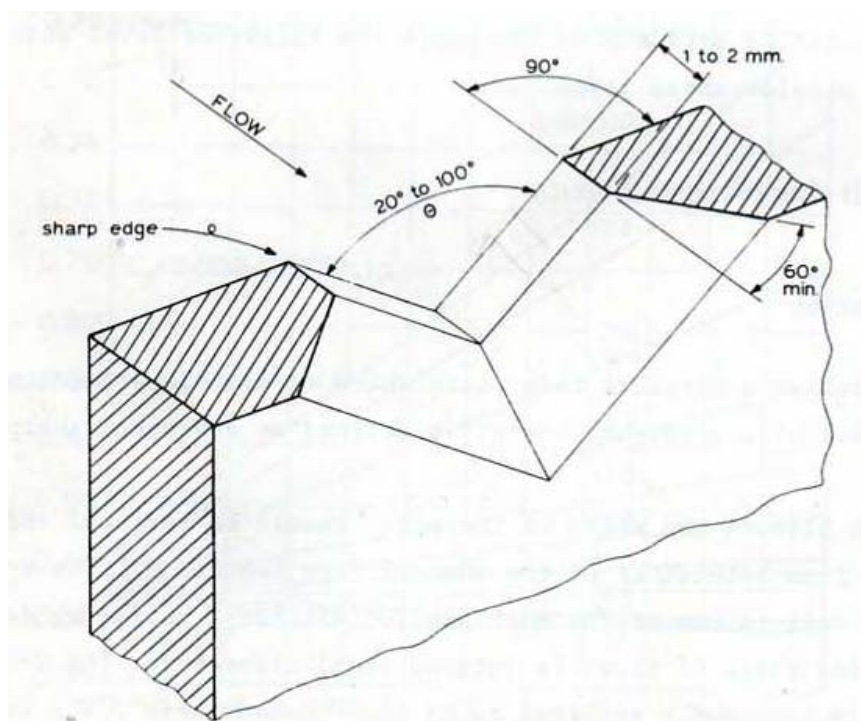


Figura 48. Características de los vertederos triangulares
(Fuente: Working Group on Small Hydraulic Structures, 1976)

El caudal de cálculo se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = C_e \cdot \frac{8}{15} \cdot (2 \cdot g)^{1/2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot h_1^{2.5}$$

Para poder aplicar esta ecuación a los casos de régimen con vena parcial o completamente contracta que puedan darse en el estudio, es necesario modificarla y sustituirla por la ecuación propuesta por Kindsvater y Carter:

$$Q = C_e \cdot \frac{8}{15} \cdot (2 \cdot g)^{1/2} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot h_e^{2.5}$$

Siendo:

θ : ángulo del vertedero

h_e : altura efectiva (igual a $k_1 + k_h$)

k_h : constante que representa los efectos combinados de las propiedades del flujo

Los valores de k_h definidos empíricamente como función del ángulo del vertedero (θ) se muestran en la **Figura 49**.

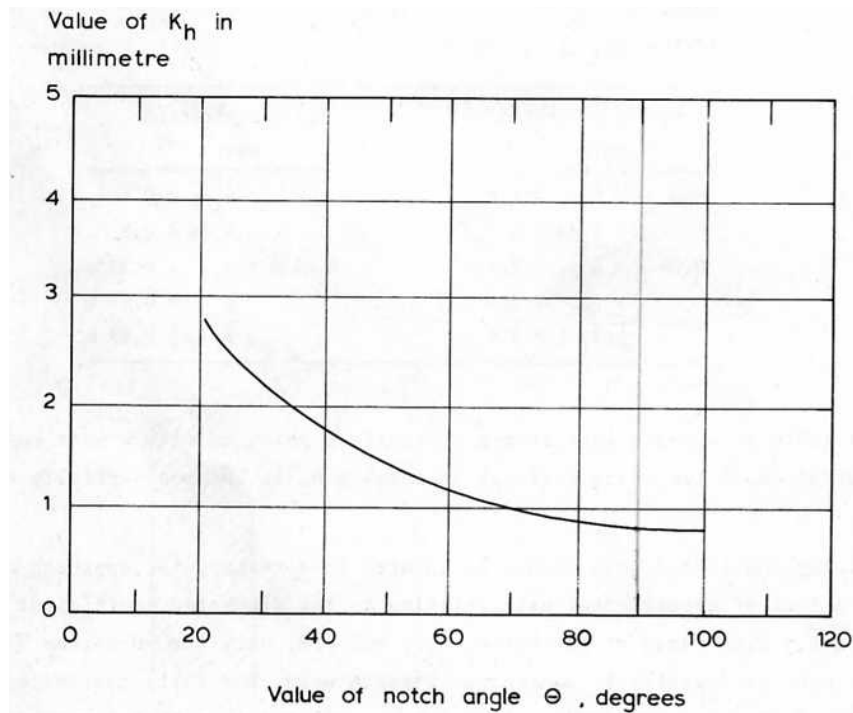


Figura 49. Valor de k_h en función del ángulo del vertedero θ (grados)

(Fuente: Working Group on Small Hydraulic Structures, 1976)

Por otra parte, se tiene que para una temperatura normal del agua (5 °C a 30 °C), el coeficiente efectivo del caudal, C_e , para este tipo de vertederos, es función de tres variables:

$$C_e = f(h_1 / p, p / B_1, \theta)$$

Si se cumplen las relaciones $h_1/p \leq 0,4$ y $p/B_1 \leq 0,2$, el vertedero está completamente ajustado y C_e llega a ser una función solamente del ángulo del vertedero (**Figura 50**).

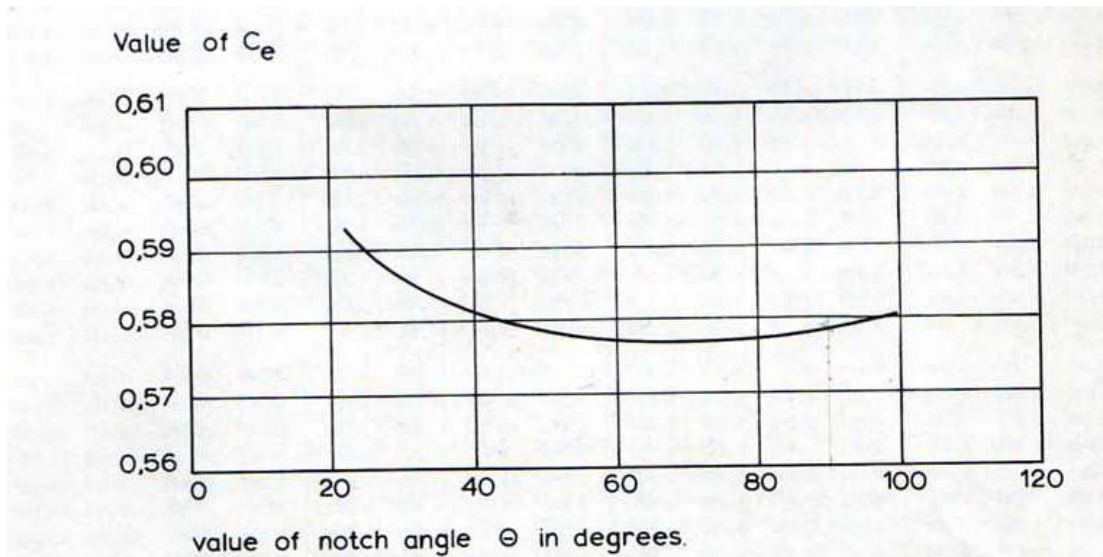


Figura 50. Coeficiente de descarga C_e en función del ángulo del vertedero θ (grados).

(Fuente: Working Group on Small Hydraulic Structures, 1976)

Si la lámina vertiente no está completamente desarrollada, el coeficiente efectivo del caudal, C_e , puede tomarse de la **Figura 51** para un ángulo de 90°.

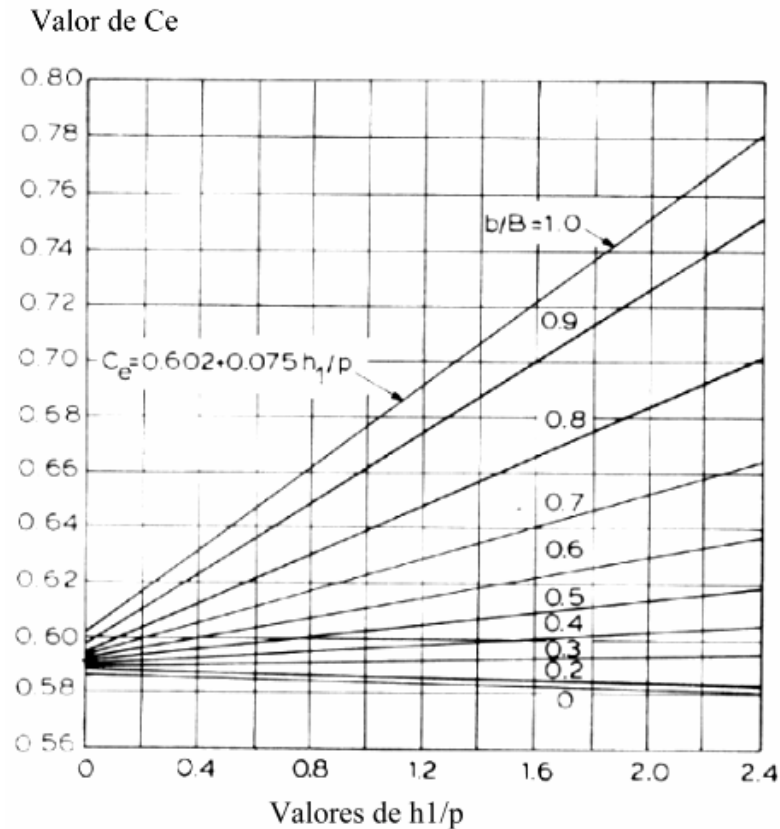


Figura 51. Valor de C_e como función de b/B y h_1/p
(Fuente: Working Group on Small Hydraulic Structures, 1976)

Por tanto, y a partir de todo lo expuesto, el vertedero utilizado de pared delgada y 90° , cumple todas las condiciones mencionadas anteriormente. Por ello, a partir de la **Figura 52** y **Figura 53**, sabiendo el ángulo θ y la altura de la lámina de agua, se podrá obtener el caudal circulante por el modelo.

Es importante destacar, que para poder utilizar correctamente esta tabla hay que convertir los caudales del prototipo a caudales en el modelo, aplicando el factor de escala correspondiente, y con este valor entrar en la **Figura 52** y **Figura 53**.

HEAD	DISCHARGE			1/sec	HEAD	DISCHARGE			1/sec	HEAD	DISCHARGE			1/sec	HEAD	DISCHARGE			1/sec
metre	90°	± 90°	± 90°		metre	90°	± 90°	± 90°		metre	90°	± 90°	± 90°		metre	90°	± 90°	± 90°	
0.050	0.803	0.406	0.215		0.100	4.420	2.249	1.161		0.150	12.066	6.130	3.140		0.200	24.719	12.506	6.379	
0.051	0.843	0.427	0.225		0.101	4.530	2.305	1.190		0.151	12.267	6.231	3.192		0.201	25.028	12.662	6.458	
0.052	0.884	0.448	0.236		0.102	4.641	2.362	1.219		0.152	12.471	6.334	3.245		0.202	25.339	12.819	6.537	
0.053	0.926	0.469	0.247		0.103	4.754	2.420	1.249		0.153	12.676	6.437	3.297		0.203	25.652	12.977	6.617	
0.054	0.970	0.491	0.259		0.104	4.869	2.478	1.278		0.154	12.883	6.542	3.350		0.204	25.969	13.136	6.698	
0.055	1.015	0.514	0.271		0.105	4.985	2.537	1.309		0.155	13.093	6.648	3.404		0.205	26.288	13.296	6.780	
0.056	1.061	0.537	0.283		0.106	5.103	2.598	1.339		0.156	13.304	6.755	3.458		0.206	26.610	13.457	6.862	
0.057	1.108	0.561	0.295		0.107	5.222	2.659	1.371		0.157	13.517	6.863	3.513		0.207	26.934	13.620	6.944	
0.058	1.156	0.586	0.308		0.108	5.344	2.720	1.402		0.158	13.732	6.971	3.568		0.208	27.261	13.784	7.028	
0.059	1.206	0.611	0.321		0.109	5.467	2.783	1.434		0.159	13.950	7.081	3.624		0.209	27.590	13.949	7.111	
0.060	1.257	0.637	0.334		0.110	5.592	2.847	1.466		0.160	14.169	7.192	3.680		0.210	27.921	14.115	7.196	
0.061	1.309	0.663	0.348		0.111	5.719	2.911	1.499		0.161	14.391	7.304	3.737		0.211	28.254	14.282	7.281	
0.062	1.362	0.691	0.362		0.112	5.847	2.976	1.533		0.162	14.614	7.417	3.794		0.212	28.588	14.450	7.366	
0.063	1.417	0.718	0.376		0.113	5.977	3.042	1.566		0.163	14.840	7.531	3.852		0.213	28.924	14.620	7.453	
0.064	1.473	0.747	0.391		0.114	6.108	3.109	1.601		0.164	15.067	7.646	3.911		0.214	29.264	14.794	7.539	
0.065	1.530	0.776	0.406		0.115	6.242	3.177	1.635		0.165	15.297	7.762	3.969		0.215	29.607	14.964	7.627	
0.066	1.588	0.806	0.421		0.116	6.377	3.246	1.670		0.166	15.529	7.879	4.029		0.216	29.953	15.138	7.715	
0.067	1.648	0.836	0.437		0.117	6.514	3.315	1.706		0.167	15.763	7.998	4.089		0.217	30.301	15.313	7.803	
0.068	1.710	0.867	0.453		0.118	6.653	3.386	1.742		0.168	15.999	8.117	4.149		0.218	30.651	15.489	7.893	
0.069	1.772	0.899	0.470		0.119	6.793	3.457	1.778		0.169	16.237	8.237	4.210		0.219	31.004	15.666	7.982	
0.070	1.836	0.932	0.486		0.120	6.935	3.529	1.815		0.170	16.477	8.358	4.272		0.220	31.359	15.844	8.073	
0.071	1.901	0.965	0.503		0.121	7.079	3.602	1.853		0.171	16.719	8.481	4.334		0.221	31.717	16.024	8.164	
0.072	1.967	0.999	0.521		0.122	7.224	3.677	1.891		0.172	16.964	8.604	4.397		0.222	32.077	16.204	8.255	
0.073	2.035	1.033	0.539		0.123	7.372	3.751	1.929		0.173	17.210	8.728	4.460		0.223	32.439	16.386	8.347	
0.074	2.105	1.069	0.557		0.124	7.522	3.827	1.968		0.174	17.459	8.854	4.524		0.224	32.803	16.570	8.441	
0.075	2.176	1.105	0.575		0.125	7.673	3.904	2.007		0.175	17.709	8.980	4.588		0.225	33.168	16.754	8.535	
0.076	2.248	1.141	0.594		0.126	7.827	3.982	2.046		0.176	17.963	9.108	4.653		0.226	33.535	16.940	8.629	
0.077	2.322	1.179	0.613		0.127	7.982	4.060	2.086		0.177	18.219	9.237	4.718		0.227	33.907	17.127	8.724	
0.078	2.397	1.217	0.633		0.128	8.139	4.140	2.127		0.178	18.478	9.367	4.784		0.228	34.282	17.315	8.819	
0.079	2.473	1.256	0.653		0.129	8.298	4.220	2.168		0.179	18.738	9.497	4.851		0.229	34.659	17.504	8.915	
0.080	2.551	1.296	0.673		0.130	8.458	4.302	2.209		0.180	19.001	9.629	4.918		0.230	35.039	17.695	9.011	
0.081	2.630	1.336	0.694		0.131	8.621	4.384	2.251		0.181	19.265	9.762	4.986		0.231	35.421	17.886	9.108	
0.082	2.710	1.377	0.715		0.132	8.785	4.467	2.294		0.182	19.531	9.896	5.054		0.232	35.806	18.079	9.207	
0.083	2.792	1.419	0.737		0.133	8.951	4.551	2.337		0.183	19.800	10.032	5.122		0.233	36.193	18.274	9.306	
0.084	2.876	1.462	0.759		0.134	9.119	4.636	2.380		0.184	20.071	10.168	5.192		0.234	36.582	18.469	9.405	
0.085	2.961	1.505	0.781		0.135	9.289	4.722	2.424		0.185	20.345	10.305	5.261		0.235	36.974	18.666	9.504	
0.086	3.048	1.549	0.803		0.136	9.461	4.809	2.468		0.186	20.621	10.444	5.332		0.236	37.369	18.864	9.605	
0.087	3.136	1.594	0.826		0.137	9.634	4.897	2.513		0.187	20.899	10.584	5.403		0.237	37.766	19.063	9.706	
0.088	3.225	1.640	0.850		0.138	9.810	4.986	2.559		0.188	21.180	10.726	5.475		0.238	38.166	19.263	9.808	
0.089	3.316	1.686	0.874		0.139	9.987	5.075	2.604		0.189	21.463	10.867	5.547		0.239	38.568	19.465	9.910	
0.090	3.409	1.734	0.898		0.140	10.167	5.166	2.651		0.190	21.748	11.010	5.620		0.240	38.973	19.668	10.013	
0.091	3.503	1.782	0.922		0.141	10.348	5.258	2.697		0.191	22.034	11.155	5.693		0.241	39.380	19.872	10.116	
0.092	3.598	1.830	0.947		0.142	10.532	5.351	2.744		0.192	22.322	11.300	5.766		0.242	39.790	20.079	10.220	
0.093	3.696	1.880	0.973		0.143	10.717	5.444	2.792		0.193	22.612	11.447	5.841		0.243	40.202	20.287	10.325	
0.094	3.795	1.930	0.998		0.144	10.904	5.539	2.840		0.194	22.906	11.595	5.916		0.244	40.617	20.496	10.430	
0.095	3.895	1.981	1.025		0.145	11.093	5.635	2.889		0.195	23.203	11.743	5.992		0.245	41.034	20.705	10.536	
0.096	3.997	2.033	1.051		0.146	11.284	5.732	2.938		0.196	23.501	11.893	6.068		0.246	41.454	20.916	10.642	
0.097	4.101	2.086	1.078		0.147	11.476	5.830	2.988		0.197	23.802	12.044	6.145		0.247	41.877	21.127	10.750	
0.098	4.206	2.139	1.106		0.148	11.671	5.929	3.038		0.198	24.106	12.197	6.222		0.248	42.302	21.340	10.858	
0.099	4.312	2.194	1.133		0.149	11.867	6.029	3.089		0.199	24.411	12.351	6.300		0.249	42.730	21.555	10.967	

Figura 52. Caudales de descarga para vertederos triangulares en pared delgada según la altura de vertido (h_1) en metros

(Fuente: Working Group on Small Hydraulic Structures, 1976)

HEAD metre	DISCHARGE 1/sec			HEAD metre	DISCHARGE 1/sec			HEAD metre	DISCHARGE 1/sec		
	90°	1/2 90°	1/4 90°		90°	1/2 90°	1/4 90°		90°	1/2 90°	1/4 90°
0.250	43.160	21.772	11.077	0.300	68.106	34.268	17.410	0.350	100.19	50.313	25.512
0.251	43.593	21.990	11.187	0.301	68.675	34.552	17.555	0.351	100.91	50.672	25.693
0.252	44.028	22.209	11.299	0.302	69.246	34.837	17.700	0.352	101.63	51.033	25.875
0.253	44.466	22.429	11.410	0.303	69.821	35.124	17.845	0.353	102.36	51.397	26.057
0.254	44.907	22.649	11.523	0.304	70.398	35.412	17.992	0.354	103.08	51.758	26.240
0.255	45.350	22.873	11.635	0.305	70.980	35.702	18.139	0.355	103.81	52.121	26.424
0.256	45.796	23.098	11.749	0.306	71.568	35.995	18.287	0.356	104.54	52.487	26.609
0.257	46.245	23.323	11.863	0.307	72.159	36.290	18.435	0.357	105.28	52.856	26.794
0.258	46.696	23.549	11.978	0.308	72.750	36.585	18.585	0.358	106.02	53.227	26.981
0.259	47.150	23.777	12.094	0.309	73.341	36.880	18.735	0.359	106.77	53.596	27.168
0.260	47.606	24.005	12.210	0.310	73.936	37.177	18.885	0.360	107.52	53.967	27.355
0.261	48.065	24.235	12.326	0.311	74.534	37.477	19.037	0.361	108.27	54.340	27.544
0.262	48.527	24.466	12.443	0.312	75.135	37.779	19.189	0.362	109.02	54.717	27.733
0.263	48.991	24.699	12.561	0.313	75.738	38.081	19.342	0.363	109.78	55.096	27.923
0.264	49.458	24.933	12.680	0.314	76.344	38.384	19.495	0.364	110.54	55.473	28.114
0.265	49.928	25.168	12.799	0.315	76.954	38.687	19.650	0.365	111.30	55.852	28.306
0.266	50.400	25.404	12.920	0.316	77.566	38.995	19.805	0.366	112.06	56.231	28.498
0.267	50.876	25.642	13.041	0.317	78.181	39.304	19.960	0.367	112.84	56.616	28.691
0.268	51.353	25.881	13.162	0.318	78.802	39.615	20.117	0.368	113.62	57.003	28.885
0.269	51.834	26.121	13.284	0.319	79.428	39.927	20.274	0.369	114.39	57.391	29.080
0.270	52.317	26.363	13.407	0.320	80.057	40.241	20.432	0.370	115.17	57.780	29.275
0.271	52.802	26.606	13.529	0.321	80.685	40.553	20.590	0.371	115.95	58.171	29.472
0.272	53.291	26.851	13.653	0.322	81.314	40.867	20.750	0.372	116.73	58.560	29.669
0.273	53.782	27.098	13.778	0.323	81.947	41.184	20.910	0.373	117.52	58.950	29.867
0.274	54.276	27.347	13.903	0.324	82.583	41.503	21.071	0.374	118.31	59.345	30.065
0.275	54.772	27.596	14.030	0.325	83.222	41.824	21.232	0.375	119.11	59.742	30.264
0.276	55.272	27.845	14.157	0.326	83.863	42.147	21.395	0.376	119.91	60.141	30.465
0.277	55.774	28.097	14.284	0.327	84.508	42.471	21.558	0.377	120.71	60.542	30.666
0.278	56.282	28.351	14.413	0.328	85.155	42.796	21.721	0.378	121.52	60.944	30.867
0.279	56.794	28.607	14.542	0.329	85.806	43.123	21.886	0.379	122.32	61.346	31.070
0.280	57.306	28.863	14.671	0.330	86.459	43.451	22.051	0.380	123.13	61.747	31.273
0.281	57.819	29.119	14.802	0.331	87.116	43.779	22.217	0.381	123.94	62.150	31.477
0.282	58.335	29.377	14.933	0.332	87.775	44.107	22.384				
0.283	58.853	29.638	15.065	0.333	88.438	44.438	22.551				
0.284	59.375	29.901	15.197	0.334	89.103	44.773	22.719				
0.285	59.899	30.163	15.330	0.335	89.772	45.108	22.888				
0.286	60.425	30.427	15.464	0.336	90.448	45.446	23.058				
0.287	60.955	30.691	15.598	0.337	91.128	45.785	23.228				
0.288	61.487	30.959	15.734	0.338	91.811	46.125	23.400				
0.289	62.023	31.229	15.870	0.339	92.491	46.467	23.572				
0.290	62.560	31.499	16.006	0.340	93.175	46.810	23.744				
0.291	63.101	31.769	16.143	0.341	93.862	47.153	23.910				
0.292	63.645	32.040	16.281	0.342	94.551	47.497	24.092				
0.293	64.195	32.315	16.420	0.343	95.244	47.842	24.267				
0.294	64.748	32.591	16.559	0.344	95.940	48.191	24.442				
0.295	65.303	32.869	16.699	0.345	96.638	48.542	24.619				
0.296	65.858	33.146	16.840	0.346	97.340	48.895	24.796				
0.297	66.416	33.424	16.982	0.347	98.045	49.249	24.974				
0.298	66.976	33.704	17.124	0.348	98.753	49.604	25.152				
0.299	67.539	33.985	17.267	0.349	99.471	49.958	25.332				

90° - V + θ = 90°
1/2 90° - V + θ = 53°8'
1/4 90° - V + θ = 28°4'

See Fig. 5.11.

NOTE: The number of significant figures given for the discharge does not imply a corresponding accuracy in the knowledge of the values given.

Figura 53. Caudales de descarga para vertederos triangulares en pared delgada según la altura de vertido (h_1) en metros

(Fuente: Working Group on Small Hydraulic Structures, 1976)

9.2. TUBO DE PITOT

Se ha construido un tubo de Pitot para evaluar la velocidad real del flujo en la rápida del aliviadero A2 (**Anejo 6. Ensayos sobre modelo físico reducido y diseño de las actuaciones correctoras**). Para ello, este tubo se debe colocar a $0,4 \cdot y$ desde la solera de la rápida (siendo y el calado del flujo), con el fin de realizar una correcta medición de la altura de velocidad del flujo (**Figura 54**).



Figura 54. Tubo de Pitot para la obtención de la altura de velocidad