



Juan Francisco Fuentes-Pérez Ana García-Vega Andrés Martínez de Azagra Paredes Francisco Javier Sanz-Ronda





Índice

1.	Obj	eto de esta guía 2
2.	Inst	alación de Escalas2
2	2.1.	Requisitos del Sistema2
2	2.2.	Pasos para la Instalación3
3.	Bre	ve introducción a Escalas4
3	8.1.	Inicio y barra de herramientas4
3	8.2.	Paneles
4.	Ger	erador asistido de Escalas11
5.	Mo	dificación de las bases de datos18
5	5.1.	Nuevas restricciones biológicas18
5	5.2.	Insertar nueva tipología de escala19
5	5.3.	Insertar nuevos coeficientes y ecuaciones de gasto
6.	Sim	ulación
6	5.1.	Ecuaciones de gasto
6	5.2.	Continuidad de las ecuaciones23
6	5.3.	Simulaciones
7.	Ejer	nplo de diseño completo28
7	' .1.	Generador de escalas
7	.2.	Modificaciones para condiciones de caudal alto
7	.3.	Modificaciones para condiciones de caudal bajo
8.	Rep	orte de Errores
9.	Not	ación
10.	N	1aterial de apoyo y referencias40

Guía de Usuario de Escalas V2

1. Objeto de esta guía

La presente Guía de Usuario ha sido diseñada con el fin de proporcionar a los ingenieros, gestores de recursos hídricos y otros profesionales interesados en el diseño de escalas para peces, una comprensión integral y práctica del software Escalas. Escalas es una herramienta innovadora dedicada al diseño, evaluación, mejora y modelización de escalas para peces, integrando en una única plataforma múltiples funcionalidades para facilitar estos procesos. El objetivo de esta guía es ofrecer una visión detallada de las capacidades del software, asegurando que los usuarios sean capaces de utilizarla de forma efectiva en la realización de sus proyectos, así como de maximizar su potencial para el diseño.



Figura 1. Pantalla inicial de carga de Escalas

Asimismo, cada capítulo de esta guía va acompañado de un videotutorial que muestra de manera más práctica el uso de la interfaz de usuario del programa.

2. Instalación de Escalas

Este capítulo está dedicado a guiar a los usuarios a través del proceso de instalación del software Escalas en sistemas operativos Windows. La instalación de Escalas es un procedimiento sencillo, pero requiere derechos de administrador para su correcta ejecución. A continuación, se detallan los pasos necesarios para instalar el software en su equipo.

2.1. Requisitos del Sistema

Antes de proceder con la instalación, asegúrese de que su sistema cumple con los siguientes

requisitos mínimos:

- Sistema operativo: Windows 7, 8, 10 o 11.
- Privilegios: Derechos de administrador en el equipo.
- Espacio en disco: Mínimo 100 MB de espacio libre.
- Otros: Se requiere una conexión a internet activa para completar la instalación.

2.2. Pasos para la Instalación

• Descarga del Instalador:

Visite el sitio web oficial de Escalas y diríjase a la sección de descargas. Link de descarga:

- https://gea-ecohidraulica.org/GEA_es/software.html

Descargue la última versión del archivo instalador.

• Ejecución del Instalador:

Localice el archivo descargado en su equipo y haga doble clic sobre él (SetupEscalas.msi).

Si aparece un mensaje de control de cuentas de usuario solicitando permisos, haga clic en 'Sí' para continuar.

• Proceso de Instalación:

Siga las instrucciones en pantalla del asistente de instalación.

Seleccione la ubicación en el disco donde desea instalar Escalas. Se recomienda utilizar la ubicación predeterminada.

Espere a que el asistente complete la instalación del software.

• Finalización de la Instalación:

Una vez completada la instalación, puede optar por crear un acceso directo en el escritorio para un fácil acceso.

Haga clic en 'Finalizar' para cerrar el asistente de instalación.

• Verificación de la Instalación:

Encuentre el icono de Escalas en su escritorio o en el menú de inicio y haga doble clic para

abrir el software.

Si Escalas se inicia correctamente, la instalación ha sido exitosa.

• Solución de Problemas

Si encuentra problemas durante la instalación, como mensajes de error o fallos en la ejecución, considere las siguientes sugerencias:

- Asegúrese de estar ejecutando el instalador con derechos de administrador.
- Verifique que su sistema operativo esté actualizado.
- Desactive temporalmente su software antivirus durante la instalación, ya que algunos programas pueden bloquear o interferir con el proceso de instalación.

• Soporte Técnico

Si necesita asistencia adicional o tiene preguntas sobre la instalación de Escalas, no dude en contactar al soporte técnico a través de nuestro sitio web o correo electrónico de soporte. Véase capítulo 8.

3. Breve introducción a Escalas

Escalas es un software gratuito diseñado para facilitar la creación, evaluación y modelización de escalas para peces. Este software multifuncional permite, entre otras cosas, el diseño asistido de escalas para peces y la simulación de distintos escenarios hidráulicos. En este capítulo, procederemos a familiarizarnos con la estructura del programa.

3.1. Inicio y barra de herramientas

Al acceder a Escalas, nos encontramos con tres alternativas de diseño (Figura 2): podemos iniciar un diseño libre, definiendo manualmente una escala para peces; utilizar el generador de escalas para peces, que permite el diseño automático de escalas definidas en el software; o abrir un trabajo guardado para continuar con él.



Figura 2. Menú de inicio de Escalas.

El software cuenta con una barra de herramientas estándar, que incluye un **menú de archivo** para abrir un nuevo proyecto, abrir trabajos anteriores, guardar el trabajo actual o imprimir un informe del proyecto en curso. El **menú de edición** permite copiar información de las múltiples tablas del software. En el **menú de herramientas**, se puede acceder al generador automático de escalas para peces. El **menú de configuración** incluye las restricciones de diseño para el generador automático, las ecuaciones y coeficientes predeterminados útiles para la simulación y los idiomas disponibles del software, actualmente español e inglés. Finalmente, el **menú de ayuda** ofrece acceso a tutoriales en formato video.

🥵 Escalas	- 🗆 X
Archivo Editar Herramientas Configuración Ayuda	
Tabiques Vertidos asociados Simulaciones	
Tabiques	7
Tabiques Ht (m) B (m) L (i,i+1) (m) ΔZ (i,i+1) (m)	
	Nuevo
	Modificar
	Eliminar
Vertederos, hendiduras y orificios	
Tipo Gasto Coeficiente b (m) p (m) a (m) A (m)]
	Nuevo Modificar
	Eliminar
	Liitiita

Figura 3. Barra de herramientas de Escalas.

3.2. Paneles

En la pantalla principal del software, hay **tres paneles** diferentes. El panel "Tabiques" corresponde a la **definición de cada muro transversal o tabique de la escala**, el segundo panel "Vertidos asociados" define todas las **estructuras asociadas** a la escala, como una presa o un rebaje para aumentar el caudal de atracción, permitiendo considerar la distribución del caudal en el obstáculo y/o estructuras asociadas y la escala para peces bajo diferentes escenarios hidrodinámicos. Finalmente, en el panel "Simulaciones" podremos **simular diferentes escenarios** y sus efectos en la escala para peces cambiando las condiciones de contorno.

🥳 Escalas	- 🗆 X
Archivo Editar Herramientas Configuración Ayuda	
Tabiques Vertidos asociados Simulaciones	
Tabiques	
Tabiques Ht (m) B (m) L (i,i+1) (m) ΔZ (i,i+1) (m)	
	Nuevo
	Modificar
	Eliminar
Vertederos, hendiduras y orificios	
Tipo Gasto Coeficiente b (m) p (m) a (m) A (m)	
	Nuevo
	Modificar
	Eliminar

Figura 4. Paneles de diseño.

Escalas utiliza una estructura de variables modulares para definir cualquier escala para peces, donde cada módulo corresponde a un tabique transversal y el estanque debajo de él. Al definir un nuevo tabique transversal (Figura 5), el usuario debe especificar dimensiones como el ancho del tabique y estanque, la diferencia topográfica con el tabique inferior, la longitud del estanque inferior, el grosor del tabique, la altura del tabique y del muro cajero. Una sucesión de tabiques define por tanto una escala completa.

Escalas		— 🗆 🗙 🛃 Tabiques	- 0
Asakas Markon Editar Herramientas Configuración Ayuda Ques Vettidos asociados Simulaciones biques Tabiques Ht (m) 8 (m) Ruero Tabique Posición del tabique: Nombre del tabique: Copiar tabique: Copiar tabique:	L (l+1) (m) ΔZ (l+1) (m) - · · · · I · · · D · · · Accptar · · · ·	Nuevo Modificar Eliminar	Posición del tabique: Nombre del tabique: Anchura del vertedero, B (m): Desnivel entre vertederos, AZ (i, i+1) (m): Longitud entre vertederos, L (i, i+1) (m): Espesor del vertedero, e (m): Attura del tabique, Ht (m): Attura del muro cajero, Hc (m): Unitaria del muro cajero, Hc (m): Herritoria del tabique, Ht (m): Nombre del tabique, Ht (m): Herritoria del tabique, Herritoria del tabique, Ht (m): Herritoria del tabique, Ht (m): Herritoria del tabique, Herritoria del tabique, Ht (m): Herritoria del tabique, Ht
		Nuevo Modificar	Ajicar Salir

Figura 5. Definición de un nuevo tabique y las variables a definir.

Cada tabique transversal tiene aberturas o estructuras de vertido que conectan los estanques inmediatamente superior e inferior, permitiendo el paso del agua. Estos puede ser vertederos, hendiduras verticales u orificios. El usuario puede definir ecuaciones específicas para cada conexión o usar las ecuaciones preestablecidas, considerando siempre la literatura especializada.



Figura 6. Definición de un vertedero en el tabique 2.

Aunque en los diseños clásicos de escalas para peces la mayoría de los tabiques tienen conexiones o estructuras de vertido similares entre ellos, Escalas permite definir conexiones diferentes para cada uno, ya sea en cuanto a geometría o tipología, incluso con diferente combinación de vertederos, hendiduras y orificios). Esto se consigue seleccionando y definiendo las conexiones en la tabla de Vertederos, hendiduras y orificios. Para tabiques con conexiones iguales, una vez definidas las conexiones en un tabique, podemos clonar el tabique

para evitar definir las conexiones una a una en los demás tabiques (la opción Copiar tabique que se puede observar en la Figura 5).

A continuación, debemos definir la geometría del obstáculo donde se ubicará la escala (Figura 7), lo cual se hace en el panel de Vertidos Asociados. Al igual que con las conexiones en los tabiques, agregaremos tantos vertidos asociados (presa, canales de derivación, vertederos de llamada, etc.) como sean necesarios para definir completamente el lugar donde se instalará la escala, teniendo en cuenta las variables geométricas y las ecuaciones de la literatura especializada o las sugeridas por el programa.



Figura 7. Definición de un vertido asociado en la pestaña de vertidos asociados.

Una vez definida la geometría de la escala y los vertidos asociados, podemos proceder a estudiar su funcionamiento hidráulico en el panel de simulación definiendo las condiciones de contorno, que son el caudal circulante por el río y nivel del agua aguas abajo de la escala (si no se definen vertidos asociados, el caudal circulante por el río será el circulante por la escala). Gracias a esta herramienta, podremos, por ejemplo, estudiar el funcionamiento en condiciones de diseño, donde esperaremos un funcionamiento uniforme del paso, y revisar las alertas en el cuadro de **informe de simulación** para verificar posibles incompatibilidades con las especies de peces objetivo para el diseño. Estos límites de incompatibilidad se pueden modificar en la sección de restricciones a través del menú de configuración de la barra de herramientas.

		errarnieritas	Comguración	Ayuud					
piq	ues Vertidos a	sociados S	imulaciones						
im	ulaciones								
	Indentificador	ΔH (m)	h,' (m)	h₂' (m)	Qh (m ³ /s)	Qvs (m ³ /s)	QI (m ³ /s)	Qo (m ³ /s)	QTotal (m ³ /
	1	0.150	1.166	1.016	0.300	0.000	0.000	0.000	0.300
	2	0.150	1.568	1.418	0.000	0.240	0.000	0.060	0.300
	3	0.150	1.568	1.418	0.000	0.240	0.000	0.060	0.300
	4	0.150	1.568	1.418	0.000	0.240	0.000	0.060	0.300
	5	0.150	1.568	1.418	0.000	0.240	0.000	0.060	0.300
	6	0.150	1.568	1.418	0.000	0.240	0.000	0.060	0.300
Ēs	cenario				Informe	de Simulación			
Ēs	cenario Caudal circulan	te por el río (m³/s): 0).3	Informe	de Simulación			
Es (cenario Caudal circulan	te por el río (m³/s): 0 xaio (m): 1	0.3	Informe Desnive	de Simulación	H (m): 0.9 m.		
Es (ccenario Caudal circulan Altura de la lám	te por el río (ina aguas at	m³/s): 0 xajo (m): 1).3 I.418	Desnive Potenci	de Simulación el total a salvar, a disipada:	H (m): 0.9 m.		

Figura 8. Ejemplo de simulación de una escala de vertederos y orificio sumergido sin vertidos asociados en condiciones de diseño.

Tras la simulación podremos guardar el escenario simulado y proceder a probar el efecto en la escala de aumentos y disminuciones de caudal en el río; esto generará perfiles no uniformes en la escala y posibles incompatibilidades para el paso de las especies objetivo.

Para guardar cada una de las simulaciones pulsaremos el botón guardar.

i 🛛 🕘 📭								
iques Vertidos as	sociados Sir	nulaciones						
mulaciones								
Indentificador	<u>ΔH (m)</u>	h _' ' (m)	<mark>h₂'</mark> (m)	Qh (m³/s)	Qvs (m ³ /s)	QI (m ³ /s)	Qo (m ³ /s)	QTotal (m ³
1	0.163	1.343	1.180	0.360	0.000	0.000	0.000	0.360
2	0.160	1.732	1.572	0.000	0.296	0.002	0.062	0.360
3	0.168	1.722	1.554	0.000	0.296	0.000	0.064	0.360
5	0.192	1.678	1.486	0.000	0.292	0.000	0.068	0.360
6	0.218	1.636	1.418	0.000	0.288	0.000	0.072	0.360
Scenario Caudal circulant	e por el río (r	n³/s): [0.36	Informe Desnive	de Simulación el total a salvar,	H (m): 1.077		
Altura de la lami Simular G Escalas chivo Editar He	uardar I	Eliminar	Ayuda	Algunos	a disipada: s estanques su	peran el valor	máximo defini	ido para la
Altura de la lami Simular G Escalas thivo Editar He S de la construction the second second dues Vertidos as	na aguas ab uardar I urramientas sociados Sir	Eliminar [Ayuda	✓ Potenci Algunos	a disipada: s estanques su	peran el valor	máximo defini	ido para la
Altura de la lami Simular G Escalas hivo Editar He F C Market Construction iques Vertidos as mulaciones	na aguas ab uardar I uardar I sociados Sin	Eliminar [Configuración mulaciones	Ayuda	Algunos	a disipada:	peran el valor	máximo defini	ido para la
Altura de la lami Simular G Escalas thivo Editar He iques Vertidos as mulaciones Indentificador	uardar I uardar I sociados Sir ΔH (m) 0.110	Eliminar [Configuración mulaciones h.' (m) 0.681	Ayuda h-' (m) 0.571	Ch (m ³ /s) 0:150	a disipada: s estanques su Qvs (m³/s) 0.000	QI (m ² /s)	máximo defini — — Qo (m³/s) 0.000	QTotal (m ^a 0.150
Altura de la lami Simular G Escalas hivo Editar He iques Vertidos as mulaciones Indentificador 1 2	uardar I uardar I sociados Sir ΔH (m) 0.110 0.101	Eliminar Configuración mulaciones h.' (m) 0.681 1.123	Ayuda h.' (m) 0.571 1.022	✓ Potenci Algunos ✓ Algunos Ø (m³/s) 0.150 0.000	a disipada: s estanques su Qvs (m³/s) 0.000 0.101	QI (m ³ /s) 0.000 0.000	máximo defini — — Qo (m ³ /s) 0.000 0.049	QTotal (m ³ 0.150 0.150
Altura de la lami Simular G Escalas hivo Editar He Vertidos as mulaciones Indentificador 1 2 3	uardar I uardar I sociados Sir ΔH (m) 0.101 0.080 0.97	Configuración mulaciones h.' (m) 0.681 1.123 1.172	Ayuda h.' (m) 0.571 1.022 1.092	✓ Potenci Algunos 0.150 0.000 0.000 0.000	Qvs (m³/s) 0.000 0.101 0.105	QI (m ² /s) 0.000 0.000 0.000	Máximo defini 	QTotal (m ³ 0.150 0.150 0.150
Altura de la lami Simular G Escalas thivo Editar He iques Vertidos as mulaciones Indentificador 2 3 4 5	na aguas ab. uardar I urramientas I sociados Sir ΔH (m) 0.110 0.101 0.080 0.059 0.040	Eliminar [Configuración mulaciones h' (m) 0.681 1.123 1.172 1.242 1.333	Ayuda h.' (m) 0.571 1.022 1.092 1.183 1.293	✓ Potenci Algunos 0.150 0.000 0.000 0.000 0.000	Qvs (m³/s) 0.000 0.101 0.112 0.119	QI (m ² /s) 0.000 0.000 0.000 0.000	Qo (m³/s) 0.000 0.049 0.044 0.038 0.021	QTotal (m ² 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150
Altura de la lami Simular G Escalas thivo Editar He iques Vertidos as mulaciones Indentificador 1 2 3 4 5 6	na aguas ab uardar l erramientas sociados Sir ΔH (m) 0.101 0.101 0.080 0.059 0.040 0.025	Eliminar Eli	Ayuda h.' (m) 0.571 1.022 1.092 1.183 1.293 1.418	✓ Potenci Algunos 0.150 0.000 0.000 0.000 0.000	Qvs (m³/s) 0.000 0.101 0.106 0.112 0.119 0.125	QI (m³/s) 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	Qo (m³/s) 0.000 0.049 0.044 0.038 0.031 0.025	QTotal (m ³ 0.150 0.150 0.150 0.150
Altura de la lami Simular G Escalas hivo Editar He a a a a iques Vertidos as mulaciones Indentificador 2 1 3 4 5 6	na aguas ab uardar I sociados Sin ΔH (m) 0.110 0.080 0.059 0.040 0.025	Eliminar Eliminar Configuración nulaciones h.' (m) 0.681 1.123 1.123 1.172 1.242 1.333 1.443 m ³ /s): [Ayuda hs' (m) 0.571 1.022 1.092 1.183 1.293 1.418	✓ Potenci Algunos 0.150 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	a disipada: s estanques su Qvs (m³/s) 0.000 0.101 0.106 0.112 0.119 0.125 de Simulación	QI (m ³ /s) 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	Máximo defini	QTotal (m ³ 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150
Altura de la lami Simular G Escalas hivo Editar He altura de la lámi Indentificador 1 2 1 3 4 5 6 Scenario Caudal circulant Altura de la lámi	na aguas ab uardar I sociados Sin ΔH (m) 0.110 0.080 0.059 0.040 0.025	Eliminar Eliminar Configuración nulaciones h.' (m) 0.681 1.123 1.124 1.333 1.124 1.333 1.443 Mage (m): []	Ayuda h ^{a'} (m) 0.571 1.092 1.183 1.293 1.418	✓ Potenci ✓ Algunos Algunos 0.150 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	a disipada: s estanques su Qvs (m³/s) 0.000 0.101 0.106 0.112 0.119 0.125 de Simulación el total a salvar, a disipada:	QI (m ³ /s) 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	máximo defini Qo (m³/s) 0.000 0.049 0.044 0.038 0.031 0.025 m.	QTotal (m ^a 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150

Figura 9. Dos simulaciones generadas tras modificar el caudal circulante por el río.

Finalmente, podemos exportar un informe con la estructura diseñada y las simulaciones realizadas (Figura 10), así como guardar el proyecto para corregir las posibles





Figura 10. Impresión del informe tras la finalización de un diseño.

4. Generador asistido de Escalas

Una de las herramientas más interesantes para el usuario del software Escalas es el **generador de escalas para peces asistido**, al cual se puede acceder desde la pantalla de bienvenida inicial o desde el menú de herramientas en la barra de herramientas. Esta herramienta permite diseñar automáticamente una escala para peces proporcionando información sobre el escenario de diseño (especies objetivo, características del obstáculo, etc.) a lo largo de los diferentes pasos del proceso de diseño.

Primero necesitaremos seleccionar las restricciones biológicas es hidráulicas relacionadas con las capacidades y/o preferencias de la especie objetivo. Escalas cuenta con restricciones predefinidas según la literatura especializada, agrupadas en dos grandes categorías: salmónidos y ciprínidos. Sin embargo, los nombres y restricciones pueden modificarse o añadirse fácilmente, modificando los valores de la ventana de restricciones para un diseño determinado (Figura 11) o de forma permanente editando las bases de datos situadas en la carpeta del programa (véase capítulo 5).

Restricciones	- L X
specie Cyprinids	
Salmonids	150
Potencia disipada recomendada (VDP) (W/m³):	150
Salto entre láminas máximo (ΔΗ) (m):	0.2
Salto entre láminas recomendado (ΔH) (m):	0.15
Anchura de vertedero mínima (b) (m):	0.15
anchura de vertedero recomendada (b) (m):	0.2
Anchura de hendidura mínima (b) (m):	0.15
Anchura de hendidura recomendada (hı) (m):	0.2
Altura de vertido mínima (h₁) (m):	2*AH
Anchura de orificio mínima (b) (m):	0.15
Anchura de orificio recomendada (b) (m):	0.2
Altura de orificio mínima (a) (m):	0.15
Altura de orificio recomendada (a) (m):	0.2

Figura 11. Restricciones de diseño en función de la especie objetivo. Primer paso en generador de escalas asistido.

A continuación, seleccionaremos el tipo de escala para peces a diseñar. Cada tipo tiene asociadas ecuaciones de descarga y requisitos geométricos según la literatura especializada. Escalas incluye por defecto los cuatro tipos más comunes de escalas para peces: Escala de vertedero y orificio sumergido (PWF_1), río naturalizado tipo rápido remanso (SPNF_1) y dos tipologías de escala de hendidura vertical (VSF_1 y VSF_2). No obstante, se pueden añadir más tipos de escalas para peces modificando la base de datos (véase capítulo 5).



Figura 12. Segundo paso en el generador de escalas. Selección del tipo de escala.

Una vez seleccionado el tipo de escala, debemos definir los **datos de partida** (Figura 13), seleccionando el caudal que pasará por la escala, el caudal del río en condiciones de diseño y la diferencia de nivel entre estanques en condiciones de diseño.



Figura 13. Selección de los datos de partida tras seleccionar la tipología de interés.

Finalmente, necesitaremos definir cómo vamos a manejar la distribución del salto entre láminas, es decir, debemos elegir una **opción de ajuste para** el salto entre láminas para aquellos casos donde el salto entre estanques (Δ H) no sea múltiplo del salto total a salvar (H = $\Sigma \Delta$ H) (Figura 13). Para ello tenemos tres opciones: (1) ajustar usando el primer tabique transversal, es decir, el tabique de más aguas arriba tendrá un salto entre láminas menor al del resto (opción más usual); (2) ajustar el salto de forma uniforme disminuyendo todos los salto de agua en todos los tabiques, lo que significa que el salto entre estanques será menor al definido previamente por el usuario para adaptarse a la altura total del agua en el obstáculo; o (3) ajustar aumentando el salto entre estanques, lo que significa que el salto entre estanques será ligeramente mayor que el definido para adaptarse a la altura total del agua en el obstáculo.

Una vez seleccionadas las opciones podremos seguir con el diseño pulsando el botón siguiente.

Al seleccionar un caudal mayor para el río que para la escala, Escalas ya deduce que tenemos

un obstáculo asociado a la escala y, por lo tanto, necesitaremos definirlo añadiendo su ancho, altura del umbral y ecuación de descarga. Podemos añadir tantas secciones al obstáculo como sean necesarias para definir con precisión su geometría. Así mismo podremos definir rebajes que sirvan como mecanismos para el aumento de llamada en la escala.



Figura 14. Definición del obstáculo en el generador de escalas.

Una vez definido el obstáculo, en la ventana siguiente, Escalas, con la información proporcionada, ya habrá calculado la altura o desnivel total a superar, así como una geometría preliminar para el tabique tipo de la escala (Figura 15).

En este ejemplo, debido al tipo de escala seleccionado, tenemos dos vertederos sumergidos y una hendidura vertical. Al seleccionar cada uno, podemos modificar las variables si es necesario o incluso añadir conexiones adicionales (más hendiduras, vertederos, orificios, o combinaciones). Además, podemos verificar todos los niveles de agua en la escala, así como el número total de estanques y tabiques.

Una vez que aprobemos el diseño o se realicen las modificaciones necesarias, podemos proceder a definir la geometría del estanque tipo pulsando siguiente.

Tipo	Gasto	Coeficiente	b (m)	p (m)	a (m)	A (m)
Hendidura	2/3*c*b*h1*	0.812*(1-(h	0.2	0	0	0
Sumergido	2/3*c*b*h1*	0.812*(1-(h	0.2	0.2	0	0
Sumergido	2/3*c*b*h1*	0.812*(1-(h	0.2	0.2	0	0
	Nuevo	Mo	dificar		Elimina	ar
	Nuevo	Mo	dificar		Elimina	ar

Figura 15. Definición del vertedero tipo y dimensiones predefinidas por Escalas.

Considerando las relaciones geométricas de la base de datos y las restricciones definidas, Escalas definirá automáticamente las dimensiones de los estanques tipo para cumplir con las restricciones impuestas, como, por ejemplo, la potencia disipada. Sin embargo, podemos modificar los valores propuestos para redondearlos y facilitar la construcción.

echerador de escalas Estanque apo		L ()
Estanque tipo Anchura del vertedero, B (m):	2]
Longitud entre vertederos, L (i.i+1) (m):	3.6]
Espesor del vertedero, e (m):	0.6]
Altura del tabique. Ht (m):	0.91]
Altura del muro cajero, Hc (m):	1.11]
Caudal de la escala: 0.5 m²/s Potencia disipada (VDP): 148.399 W/m²	Nº de estanques: 9 Nº de vertederos: 10	. /
H, B	i Lu	i+1
<atra< td=""><td>as Siguiente></td><td>Salir</td></atra<>	as Siguiente>	Salir

Figura 16. Definición del estanque tipo y dimensiones predefinidas por Escalas.

Finalmente, si seleccionamos el ajuste disminuyendo el salto de agua entre estanques en el

tabique de más aguas arriba, necesitaremos definir dicho tabique, ya que tendrá una geometría diferente (Figura 17). Una vez más, Escalas predefinirá este tabique considerando las restricciones biológicas y geométricas impuestas y, además, calculará las variables hidráulicas de interés. Sin embargo, podemos modificar los valores para facilitar la construcción final de la escala, siempre revisando el resultado de esas modificaciones. Una vez que estemos de acuerdo con las variables, podemos concluir con el diseño.

Tabique de entrada de aqua		
	3.6	
	3.8	
Altura del tabique, (Ht ≥ Hc) (m):	1.11	
Anchura, b (m):	0.706	
Fórmula de gasto:	c*b*h1*(2*g*AH) ~	
Coeficiente de gasto:	0.75 ~	
Desnivel entre láminas en la entrada de a Carga de vertido en el primer vertedero (h Desnivel entre el primer y segundo verted Potencia disipada en el vetedero de entra	gua (ΔΗ): 0.066 m ₁): 0.83 m ero (ΔΖ): 0 m da (VPD): 58.882 W/m³	
Desnivel entre láminas en la entrada de a Carga de vertido en el primer vertedero (h Desnivel entre el primer y segundo verted Potencia disipada en el vetedero de entra	gua (ΔH): 0.066 m ₁): 0.83 m ero (ΔΖ): 0 m da (VPD): 58.882 W/m ³	
Desnivel entre láminas en la entrada de a Carga de vertido en el primer vertedero (h Desnivel entre el primer y segundo verted Potencia disipada en el vetedero de entra	gua (ΔΗ): 0.066 m ₁): 0.83 m ero (ΔΖ): 0 m da (VPD): 58.882 W/m³	
Desnivel entre láminas en la entrada de a Carga de vertido en el primer vertedero (h Desnivel entre el primer y segundo verted Potencia disipada en el vetedero de entra	gua (ΔΗ): 0.066 m ₁): 0.83 m ero (ΔΖ): 0 m da (VPD): 58.882 W/m ³ Caudal por la escala: 0.5 m ³ /s	
Desnivel entre láminas en la entrada de a Carga de vertido en el primer vertedero (h Desnivel entre el primer y segundo verted Potencia disipada en el vetedero de entra	gua (ΔΗ): 0.066 m ₁): 0.83 m ero (ΔΖ): 0 m da (VPD): 58.882 W/m ³ Caudal por la escala: 0.5 m ³ /s Nº de estanques: 9	
Desnivel entre láminas en la entrada de a Carga de vertido en el primer vertedero (h Desnivel entre el primer y segundo verted Potencia disipada en el vetedero de entra	gua (ΔΗ): 0.066 m ₁): 0.83 m ero (ΔΖ): 0 m da (VPD): 58.882 W/m³ Caudal por la escala: 0.5 m³/s Nº de estanques: 9	
Desnivel entre láminas en la entrada de a Carga de vertido en el primer vertedero (h Desnivel entre el primer y segundo verted Potencia disipada en el vetedero de entra	gua (ΔΗ): 0.066 m ₁): 0.83 m ero (ΔΖ): 0 m da (VPD): 58.882 W/m ³ Caudal por la escala: 0.5 m ³ /s N ^o de estanques: 9 N ^o de vertederos: 10	

Figura 17. Definición del tabique más aguas arriba, por defecto escalas diseñara una hendidura vertical donde se pueda instalar una compuerta que ayude en las labores de mantenimiento. Otras opciones de ajuste de salto entre láminas omiten este paso dado que todos los tabiques son considerados tabiques tipo.

Escalas rellenará automáticamente los tres paneles principales (Figura 18): la definición de la escala para peces, la definición del obstáculo, así como una simulación bajo condiciones de diseño.

Finalmente, podremos exportar nuestros resultados, realizar y guardar más simulaciones para estudiar el comportamiento hidrodinámico, o guardar los documentos para ediciones posteriores.

Tabic	ues Vertidos o	enciados Ci	mulaciones							1
Tab	iaues	SOCIAUOS SI	mulaciones							1
	Tabiques		Ht (m)	B (m)	L (i,i+1)) (m) 🛛	∆Z (i,i+1) (m)]		
	1		1.110 0.910	2.000	3.60	0	0.000	-		
	3		0.910	2.000	3.60	0	0.150			
•	4		0.910	2.000	3.60	0	0.150			
	6		0.910	2.000	3.60	0	0.150	Nu	over	
	8		0.910	2.000	3.60	0	0.150			
	9		0.910	2.000	3.60	0	0.150	MOG	umcar	
	10		0.910	2.000	0.00	0	0.000	Elir	minar	
Vert	tederos, hendidu	uras v orificio)S							
	Tipo	Gas	to Co	peficiente b	o (m) p (m)	a (m)	A (m)]		
<u>×</u>	Hendidura Sumergido	2/3*c*b*h 2/3*c*b*h	1*(2* 0.812 1*(2* 0.812	2*(1-(h2/h 0 2*(1-(h2/h 0	.200 0.000	0.000	0.000	-		
	Sumergido	2/3*c*b*h	1*(2* 0.812	2*(1-(h2/h 0	.200 0.200	0.000	0.000			
								Nu	levo	
								Mod	dificar	
								Elir	ninar	
						_	<u>^</u>			
Es Es	calas							1.00		
Archi	ivo Editar He	rramientas	Configuración	n Ayuda						
La La La		ociadas o								
Vert	tidos asociados	Sociauos SI	mulaciones							
ven	Vertidos	asociados		b (m)		p (m)	1	New	evo	
		1		20.000		1.914		THAT		
								Modi	ficar	
								Elim	inar	
								$\Sigma \Delta Z = 1.2$		
								$\Sigma \Delta Z = 1.2$		
								ΣΔZ = 1.2 Ht tabique N ^o	1 = 1.11	
								ΣΔZ = 1.2 Ht tabique №	1 = 1.11	
								$\Sigma \Delta Z = 1.2$ Ht tabique N ^o	1 = 1.11	
								ΣΔZ = 1.2 Ht tabique N° $b_1 = b_2$	P 1 = 1.11	
	Ht							$\Delta \Delta Z = 1.2$ Ht tabique N ^o	e 1 = 1.11	
	Ht,					-		ΣΔZ = 1.2 Ht tabique N ^o $b_1 \rightarrow b_2$ p_1 p_1	$P_1 = 1.11$	
	Ht ₁						7	ΣΔZ = 1.2 Ht tabique N ^o $b_1 \rightarrow b_2$ p_1 p_1 p_1	P 1 = 1.11	
	Ηt,							$\Delta\Delta Z = 1.2$ Ht tabique N ^o $D_1 \rightarrow t$ D_2 p_1 p_1 p_1	P1=1.11	
	Ηt, ΣΔΖ							ΣΔZ = 1.2 Ht tabique N ⁰ $D_1 \rightarrow p_1$ D_2 P_1 P_1	P1=1.11	
	Ητ, ΣΔΖ							$\Delta\Delta Z = 1.2$ Ht tabique N ⁰ $D_1 \rightarrow p_1$ D_2 P_1 P_1	² 1=1.11	
	Ητ, ΣΔΖ							ΣΔZ = 1.2 Ht tabique N ^o $P_1 \rightarrow P_1$ P_2	P1 = 1.11	
	Ht, ΣΔz						7	$\Sigma \Delta Z = 1.2$ Ht tabique N ^e $\frac{D_{1 \to p}}{p_{1}} = \frac{D_{2}}{p_{1}}$	P1 = 1.11	
	Ηt, ΣΔΖ							$\Sigma \Delta Z = 1.2$ Ht tabique N ⁴ $\frac{D_{1-y_{1}}}{p_{1-y_{2}}} = \frac{D_{2}}{p_{2}}$	P1 = 1.11	
Ess Art	Htt ₁ ΣΔz calas							$\Sigma \Delta Z = 1.2$ Hit tabique N ⁴ $\frac{D_1}{P_1} = \frac{D_2}{P_1}$ $\frac{D_1}{P_1} = \frac{D_2}{P_1}$	P1=1.11	
Es: Archi	Ht ₁ ΣΔz xcalas ivo Editar He	ramientas	Configuración	1 Ayuda				$\Sigma \Delta Z = 1.2$ Ht tabique N ⁴ $D_1 = \frac{D_2}{P_1} = \frac{D_2}{P_2}$ $-$	P1=1.11	
Es: Archin	Land the second	ramientas	Configuración	Ayuda				$\Sigma \Delta Z = 1.2$ Ht tabique N ⁴ $D_1 = D_2$ $D_1 = D_2$ $D_1 = D_2$ $D_2 = D_2$ $D_1 = D_2$ $D_2 = D_2$ $D_2 = D_2$ $D_2 = D_2$ $D_2 = D_2$	P1=1.11	
Es: Archi	La calas ivo Editar He a a a a a a a a a a a a a a a a a a a	rramientas sociados Si	Configuración	n Ayuda				$\Sigma \Delta Z = 1.2$ Ht tabique N ⁴ $D_1 + D_2$ $P_1 + P_2$ $-$	P1=1.11	
Esc Archi	La calas ivo Editar He iulaciones Indentificador	rramientas sociados Si ΔH (m)	Configuración mulaciones	h' (m)	Ch (m ² /s)	Qvs (m ³ /s)	Q((m ¹ /s)	$\Sigma \Delta Z = 1.2$ Ht tabique N ⁴ $D_1 \rightarrow D_2$ $D_1 \rightarrow D_2$ $D_1 \rightarrow D_2$ $D_1 \rightarrow D_2$ $D_1 \rightarrow D_2$ $D_1 \rightarrow D_2$ $D_2 \rightarrow D_2$	P1 = 1,11	
Archi Sim	Later the second secon	rramientas sociados Si ΔH (m) 0.066	Configuración mulaciones b: (m) 0.830	h' (m)	Oh (m²/s) 0.500	Qvs (m ³ /s) 0.000		$\Sigma \Delta Z = 1.2$ Ht tabique N ⁶ $D_1 \rightarrow p_2$ $D_1 \rightarrow p_2$ $D_1 \rightarrow p_2$ $D_1 \rightarrow p_2$ $D_1 \rightarrow p_2$ $D_1 \rightarrow p_2$ $D_2 \rightarrow p_2$	21=1.11	
Esc Archi Tabiq	icelas ivo Editar He i a Pa iulaciones Indentificador 1 2 3	rramientas sociados Si ΔH (m) 0.065 0.150	Configuración mulaciones h² (m) 0.830 0.764 0.764	h' (m) 0.764 0.614	Oh (m ³ /s) 0.500 0.209 0.209	Ovs (m ³ /s) 0.000 0.291		ΣΔZ = 1.2 Ht tabique N ⁴ $D_1 \to p_2$ P_1 P_1 P_1 P_2 P_1 P_2 P_1 P_2 P_1 P_2	P1 = 1.11	
See Esc. Archi	Laborer Hereiticador Laborer Hereiticador	rramientas sociados Si ΔH (m) 0.056 0.150 0.150	Configuración mulaciones h/(m) 0.830 0.764 0.764 0.764	h'(m) 0.764 0.614 0.614	Ch (m ³ /s) 0.500 0.209 0.209 0.209	Cvs (m ³ /s) 0.000 0.291 0.291		ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1	P1 = 1,11	
Eso Archi	icalas ivo Editar He i i i i i i i i i i i i i i i i i i i	rramientas sociados Si 0.150 0.150 0.150 0.150	Configuración mulaciones h° (m) 0.830 0.764 0.764 0.764 0.764	h'(m) 0.754 0.614 0.614 0.614	Oh (m ³ /s) 0.500 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209	Cvs (m ³ /s) 0.000 0.291 0.291 0.291 0.291	QI (m ³ /s) 0.000 0.000 0.000 0.000	ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1 - 1 - D2 P1 - 1 - D2 P2 - 1 - D2 P3 - 1 - D2 P4 - 1 - D2 P5 - 0000 0.000 0.000 0.000 0.000	CTotal (m ² /s) 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500	
Ess Archi	calas ivo Editar He ues Vertidos au ulaciones indentificador 2 3 4 5 5 6 7	rramientas sociados Si 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150	Configuración mulaciones h· (m) 0.830 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764	h Ayuda h Ayuda 0.764 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614	Ch (m ³ /s) 0.500 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209	Qvs (m ³ /s) 0.000 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291		ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1 tr D2 P1 tr D2 P1 tr D2 P1 tr D2 P1 tr D2 P2 tr D2 P3 tr D2 P4 tr D2 P5 tr D2 P4 tr D2 P5 tr D2 P4 tr D2 P5 tr P5 tr <	P1 = 1.11	
Esc Archi	Line Vertidos a: Indentificador 1 2 3 4 5 6 7 8 9	rramientas sociados Si 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150	Configuraciór mulaciones h'(m) 0.830 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764	h² (m) 0.764 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614	Ch (m³/s) 0.500 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209	Qvs (m ³ /s) 0.000 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291	QI (m ¹ /s) 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1 = 1 D2 P1 = 1 D2 P2 = 1 D3 P3 = 1 D3 P4 = 1 D2 P4 = 1 D2 P5 = 1 D3 P4 = 1 D3 P5 = 1 D3 P5 = 1 D4 P5 = 1 D4 P5 = 1 D5	P1 = 1,11	
Estination of the second secon	Indentificador	rramientas sociados Si ΔH (m) 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150	Configuración mulaciones h² (m) 0.830 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764	h/(m) 0.764 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614	Ch (m ³ /s) 0.500 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209	Qvs (m ⁷ /s) 0.001 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291	Cl (m ^{1/} s) 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1 b2 P1 D2 P1 D2 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	CTotal (m ² /s) 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500 0.500	
Archi	calas ivo Editar He vo Edit	rramientas sociados Si ΔH (m) 0.066 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150	Configuración mulaciones h' (m) 0.830 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764	h'(m) 0.764 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614	Ch (m ³ /s) 0.500 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209	Cvs (m ³ /s) 0.000 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291	Cl (m ² /s) 0.0000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.000000 0.00000000	ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1 L D2 L P1 D2 P2 P3 P3 P3 P4 P4	CTotal (m ³ /s) 0.500	
Archi	Indentificador 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Asociado 1	rramientas sociados Si 0.150	Configuración mulaciones h.º (m) 0.830 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764	h'(m) 0.764 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614	Ch (m ³ /s) 0.500 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209	Qvs (m ⁷ /s) 0 000 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291	Q1 (m ³ /s) 0.0000 0.000 0.000000	ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N° D1 + D2 P1 + D2 P2 + D3 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	CTotal (m ⁷ (s) 0.5000 0.5000 0.5000 0.500000000	
Esa Archi	Labores Indentificador 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Asociado 1	rramientas sociados Si ΔH (m) 0.066 0.150	Configuración mulaciones h² (m) 0.830 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764	h'(m) 0.764 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614	Ch (m ³ /s) 0.500 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209	Cvs (m ³ /s) 0.000 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291	Cl (m ² /s) 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.000000 0.00000000	ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1 tr D2 p1 tr D2 p1 tr D2 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	P1 = 1,11	
Es: Archi	Laborer Hereits Andread Andre	rramientas sociados Si ΔH (m) 0.056 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150	Configuración mulaciones h/(m) 0.830 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764	h'(m) 0.764 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614	Ch (m ³ /s) 0.500 0.209 0.0000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.000000 0.00000 0.00000000	Cvs (m ^{7/s}) 0.000 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291	Cl (m ² /s) 0.000	ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1 tr D2 P1 tr D2 P2 tr D2 P3 tr D2 P4 tr D2 P4 tr D2 P5 tr D2 P4 tr D2 P4 tr D2 P4 tr D2 P5 tr D2 P5 tr D2 P4 tr D2 P5 tr P5 tr <	CTotal (m ² /s) 0.500	
Ese Archabig	icalas ivo Editar He ivo Editor He ivo Editor He ivo Editor He ivo Editor He ivo Edit	rramientas sociados Si 0.066 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150	Configuración mulaciones h° (m) 0.830 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764 0.764	h'(m) 0.764 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614	Oh (m ³ /s) 0.500 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209	Qvs (m ³ /s) 0.000 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291 0.291	Q1 (m ³ /s) 0.000	ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1 D2 P1 D2 P1 P2 P1 P2 P2 P3 P3 P3 P4 P2 P3 P3 P4 P3 P4 P3 P4 P4 P4 P4 <td>P1 = 1.11</td> <td></td>	P1 = 1.11	
Es:	calas icalas icalas ivo Editar He i a vo indentificador 2 3 4 5 6 7 7 8 9 10 Asociado 1 scenario Caudal circulant	rramientas sociados Si 0.055 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 1.415	Configuración mulaciones h [*] (m) 0.76400000000000000000000000000000000000	h Ayuda h Ayuda 0.764 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614	Ch (m ³ /s) 0.500 0.209 0.0000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.0000000 0.00000 0.00000000	Qvs (m ⁷ /s) 0 000 0 291 0 291		ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1 tr D2 P1 tr D2 P1 tr D2 P1 tr D2 P1 tr D2 P2 tr D2 P3 tr D2 P4 tr D2 P5 tr D2 P4 tr D2 P5 tr D2 P4 tr D2 P5 tr P5 tr <	P1 = 1.11	
Ess Archi	icclass ivo Editar He ivo Edi	rramientas sociados Si 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 1.416	Configuraciór mulaciones h' (m) 0.830 0.764 0.76	h² (m) 0.764 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614	Oh (m ³ /s) 0.500 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209 0.209	Qvs (m ¹ /s) 0.000 0.291	QI (m ¹ /s) 0.0000 0.000 0.0000 0.0000 0.000000	ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1 D2 P1 D2 P1 P2 P1 P3 P3 P3 P4 P3 P4 P4 P5 P5 P4 P5 P5 P5 <td>P1 = 1.11</td> <td></td>	P1 = 1.11	
Fabiq	calas ivo Editar He vo Edit	rramientas sociados Si ΔH (m) 0.066 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 0.150 1.150	Configuración mulaciones h [,] (m) 0.830 0.764 0.	h² (m) 0.764 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614 0.614	Ch (m ⁷ /s) 0.500 0.209 0.0000 0.00000 0.00000 0.00000 0.000000 0.00000 0.00000000	Ovs (m ³ /s) 0.000 0.291 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.0000 0.0000 0.0000 0.000000	Cl (m ¹ /s) 0.000	ΣΔΖ = 1.2 Ht tabique N ⁴ D1 D2 P1 D2 P1 D2 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	CTotal (m ² /s) 0.500	

Figura 18. Rellenado de paneles automático tras finalizar el diseño a través del generador de tipologías.

5. Modificación de las bases de datos

Escalas emplea diferentes bases de datos para permitir el diseño automático de escalas para peces: una base de datos de restricciones biológicas, otra de tipos de escalas para peces, así como bases de datos de coeficientes y ecuaciones de gasto predeterminados.

Todas estas bases de datos pueden modificarse, respetando siempre los nombres de variables definidos. Por lo tanto, podremos insertar otros tipos de escalas para diseños automáticos, incluir restricciones para especies concretas o agregar nuevos coeficientes de gasto predeterminados que describan el funcionamiento de ciertas conexiones en los tabiques de la escala. Esto permite que Escalas pueda evolucionar y que puedan ser incluidas nuevas funcionalidades. Todas estas modificaciones se realizan externamente al software, agregando archivos específicos en la carpeta del software o modificando los existentes.

5.1. Nuevas restricciones biológicas

Comencemos añadiendo nuevas restricciones biológicas para una especie concreta. Primero necesitamos considerar cuáles son las restricciones biológicas que puede manejar Escalas (Tabla 1) y luego revisar la estructura de los archivos de restricciones (*C:\Program Files (x86)\GEA-Ecohidraulica\Escalas\Fish*).

Para generar un nuevo archivo para la especie objetivo considerada, utilizaremos como base uno de los archivos existentes en la carpeta de restricciones (*C:\Program Files (x86)\GEA-Ecohidraulica\Escalas\Fish*), copiándolo y pegando en la misma carpeta, cambiándole el nombre, y posteriormente modificando el contenido de acuerdo a las capacidades o preferencias de la nueva especie objetivo.

Variables ¹	Cyprinids	Salmonids
Potencia disipada _{max} (W/m ³)	150	200
Potencia disipada _{rec} (W/m ³)	150	200
ΔH _{max} (m)	0.20	0.25
ΔH _{rec} (m)	0.15	0.20
b _{v,min} (m)	0.15	0.20
b _{v,rec} (m)	0.20	0.20
h _{v,min} (m)	2·∆H	2·ΔH
h _{v,rec} (m)	Calculated	Calculated

Tabla 1. Ejemplo de restricciones pre-configuradas para ciprínidos y salmónidos. El significado de cada una de las variables puede consultarse en la sección de notación.

Variables ¹	Cyprinids	Salmonids
a _{o,min} (m)	0.15	0.20
a _{o,rec} (m)	0.20	0.20
b _{o,min} (m)	0.15	0.20
b _{o,rec} (m)	0.20	0.20
b _{h,min} (m)	0.15	0.20
b _{h,rec} (m)	0.20	0.20
¹ max: valor máximo; rec: valor re	comendado; <i>min:</i> valor mínimo	

5.2. Insertar nueva tipología de escala

Ahora, definamos un nuevo tipo de escala para peces. Los archivos correspondientes se encuentran en la dirección *C:\Program Files (x86)\GEA-Ecohidraulica\Escalas\Fishways*.

Cada tipo de escala tendrá, en el tabique tipo, un número y una combinación de conexiones determinada y, por tanto, la definición de variables se basará en ellas. Por ejemplo, una escala para peces con vertedero y orificio sumergido (Tabla 2) consistirá en un vertedero y un orificio, y ninguna hendidura; luego necesitaremos definir dimensiones recomendadas para el estanque (dependientes de la anchura del vertedero (b)) y, alternativamente, algunas tolerancias (también en términos de la anchura del vertedero).

N	ombre del archivo	PWF_1.txt
	Ecuación de gasto	<u>-</u>
Slots	Coeficiente de gasto	-
	Número	-
	Ecuación de gasto	2/3·C·b·h ₁ ·(2·g·h ₁) ^{0.5}
Notchos	Coeficiente de gasto	0.644·(1-(h ₂ /h ₁) ^{1.5}) ^{0.275}
Notches	Altura de umbral (p)	0.6
	Número	1
	Ecuación de gasto	$C \cdot A \cdot (2 \cdot g \cdot h_1)^{0.5}$
	Coeficiente de gasto	0.876
Orifices	Altura de umbral (p)	0
	Tipo (Rectangle/Circle)	Rectangle
	Número	1
Lo	ngitud estanque (L)	9·b(n)
An	ichura estanque (B)	5·b(n)
	Tolerancias	b(n)
Esp	esor del tabique (e)	0.20
Archivo	o de imagenes asociadas	Images\\LarinierPWF.png

Tabla 2. Datos necesarios para definir un nuevo tipo de escalas. Ejemplo de escala de vertedero (notch) y orificio (orifice) sumergido (en este caso, lo valores para hendidura (slot) no se rellenan). Archivo original: C:\Program Files (x86)\GEA-Ecohidraulica\Escalas\Fishways\PWF_1.txt

Como ejemplo, definiremos una escala de hendiduras verticales dobles, modificando el archivo de escala de hendiduras verticales según las recomendaciones de Larinier, (2002): *VSF_1.txt* (Tabla 3). El archivo original tiene 1 hendidura, y las dimensiones del estanque se basan en el ancho de esta hendidura. Por lo tanto, hay una 's' entre paréntesis.

No	ombre del archivo	VSF_1.txt
	Ecuación de gasto	2/3·C·b·h ₁ ·(2·g·h ₁) ^{0.5}
Slots	Coeficiente de gasto	0.705·(1-(h ₂ /h ₁) ^{1.5}) ^{0.317}
	Número	1
	Ecuación de gasto	-
Notchoc	Coeficiente de gasto	-
Notches	Altura de umbral (p)	-
	Número	-
	Ecuación de gasto	-
	Coeficiente de gasto	-
Orifices	Altura de umbral (p)	-
	Tipo (Rectangle/Circle)	
	Número	-
Lor	ngitud estanque (L)	9·b(s)
An	chura estanque (B)	7·b(s)
	Tolerancias	b(s)
Esp	esor del tabique (e)	0.20
Archivo	de imagenes asociadas	Images\\RajaratnamVSF1.png

Tabla 3. Ejemplo de escala de hendiduras verticales. Archivo original: C:\Program Files (x86)\GEA-Ecohidraulica\Escalas\Fishways\VSF_1.txt

En el archivo modificado, necesitaremos aumentar el número de hendiduras a 2, y el dimensionamiento del estanque considerará automáticamente la suma de estas dos ranuras para encontrar dimensiones de estanque que satisfagan las restricciones biológicas (Tabla 4).

Adicionalmente, podemos añadir algunas imágenes específicas para facilitar nuestro diseño, para ello necesitamos especificar el nombre del archivo de la imagen (Fishways\Images\DoubleVSF.png). Necesitamos 3 imágenes: la primera corresponde a la definición general de la escala para peces (DoubleVSF.png), la segunda a la definición del tabique tipo, donde el nombre del archivo va seguido de la palabra clave 'Profile1' (DoubleVSFProfile1.png) y la tercera corresponde a la definición del estanque tipoy el nombre del archivo va seguido de la palabra clave 'Profile2' ((DoubleVSFProfile2.png)) (Figura 19)

Al generar nuevas imágenes se recomienda tener en cuenta las dimensiones de las imágenes ejemplo, así como la nomenclatura de Escalas.

N	ombre del archivo	DoubleVSF_1.txt
	Ecuación de gasto	2/3·C·b·h ₁ ·(2·g·h ₁) ^{0.5}
Slots	Coeficiente de gasto	0.705·(1-(h ₂ /h ₁) ^{1.5}) ^{0.317}
	Número	2
	Ecuación de gasto	-
Notchoc	Coeficiente de gasto	-
Notches	Altura de umbral (p)	-
	Número	-
	Ecuación de gasto	-
	Coeficiente de gasto	-
Orifices	Altura de umbral (p)	-
	Tipo (Rectangle/Circle)	-
	Número	-
Lo	ngitud estanque (L)	9·b(s)
An	ichura estanque (B)	7·b(s)
	Tolerancias	b(s)
Esp	esor del tabique (e)	0.20
Archivo	o de imagenes asociadas	Images\\DoubleVSF.png

Tabla 4. Modificado de archivo para escala de doble hendidura vertical.



Figura 19. Ejemplo de colección de figuras que insertaríamos para una escala doble de hendidura vertical.

Una vez que hayamos definido todos los archivos, solo necesitamos copiarlos y pegarlos en

las carpetas específicas.

Ahora, si abrimos nuevamente Escalas, podemos usar las nuevas restricciones y el nuevo tipo de escala para diseñar automáticamente una nueva escala para peces.

5.3. Insertar nuevos coeficientes y ecuaciones de gasto

Finalmente, también es posible definir o aumentar las ecuaciones y coeficientes predeterminados sugeridos por el software modificando los archivos de ecuaciones y coeficientes (*C:\Program Files (x86)\GEA-Ecohidraulica\Escalas\Formulas.txt y C:\Program Files (x86)\GEA-Ecohidraulica\Escalas\Coeficientes.txt)*.

Este archivo contiene las ecuaciones predeterminadas que Escalas sugerirá para cualquier tipo de conexión (vertederos, hendiduras y orificios) y también las ecuaciones predeterminadas que serán útiles para escenarios hidrodinámicos límite durante la simulación de escalas para peces, donde, por ejemplo, un orificio puede comportarse como una hendidura en condiciones de caudal extremadamente bajo. Esto se cubrirá en Capítulo siguiente.

6. Simulación

Escalas es capaz de realizar simulaciones para probar diferentes comportamientos bajo distintos caudales en el río en una misma escala para peces. Esto es muy interesante pues permite ver el comportamiento y optimizar el funcionamiento de las escalas diseñadas, ya que podremos diseñar soluciones específicas para caudales altos o bajos, donde las condiciones hidráulicas óptimas de pasaje para los peces pueden cambiar a condiciones no adecuadas.

Así mismo, la simulación con Escalas permite detectar posibles fallos en las escalas para peces que diseñamos. Además, esta herramienta también es útil para la mejora de escalas para peces, ya que podemos verificar virtualmente cuál será el resultado hidráulico de ciertas modificaciones en la escala, ayudando así en la toma de decisiones.

Veremos cómo diseñar soluciones específicas para caudales bajos y altos en un ejemplo de diseño real en el capítulo 7.

6.1. Ecuaciones de gasto

Una de las cosas más importantes al realizar una simulación es seleccionar las ecuaciones adecuadas, es decir, ecuaciones que puedan manejar el comportamiento no uniforme de la

escala. En este sentido, es obligatorio entender correctamente los límites de una ecuación en la referencia especializada.

Por ejemplo, las ecuaciones de Rajaratnam et al., (1992, 1986) para escalas de hendidura vertical no pueden manejar comportamientos fuera de condiciones de diseño de forma directa. Una buena fuente de ecuaciones se puede encontrar en múltiples artículos que tratan sobre el comportamiento de las escalas de vertederos en condiciones hidrodinámicas variables, ej. Fuentes-Pérez et al., (2019, 2017, 2016, 2014). Las ecuaciones por defecto de Escalas se basan en estas últimas referencias, que han sido ampliamente contrastadas en casos reales de funcionamiento.

6.2. Continuidad de las ecuaciones

Otra cosa a considerar es que, en las escalas para peces, una conexión bajo diferentes condiciones hidrodinámicas puede comportarse como otro tipo de conexiones. Por ejemplo, un orificio con niveles de agua bajos se comportará como una hendidura o un vertedero si tiene un umbral; pero a medida que aumenta el nivel del agua, este comportamiento se modificará, primero de una hendidura a un orificio libre, luego a un orificio mixto (parcialmente sumergido y parcialmente libre) y finalmente a un orificio sumergido (Figura 20). Del mismo modo, con caudales muy altos, el agua puede llegar a fluir por encima del tabique de la escala, actuando como otro vertido en el tabique, comportándose como un vertedero libre o sumergido.

En general, los usuarios solo consideran las ecuaciones asociadas a un funcionamiento normal de la escala, pero durante casos extremos pueden necesitar otras ecuaciones que sean capaces de explicar su funcionamiento. Estas ecuaciones son lo que hemos llamado "ecuaciones por defecto en Escalas". Son ecuaciones que el software considerará una vez que el escenario simulado escapa de la definición de escala del usuario.

Como hemos visto, estas ecuaciones pueden cambiarse mediante la modificación de la base de datos, sin embargo, se recomienda hacer cualquier modificación a través del menú de ecuaciones predeterminadas del software Escalas (*Configuración -> Formulas y Coeficientes*) para evitar errores. El usuario podrá insertar cualquier ecuación que desee (teniendo siempre en cuenta la convención en la nomenclatura de las variables utilizada), ya que las ecuaciones en Escalas se tratan como otra variable y, por lo tanto, son definibles por el usuario.



Figura 20. Ventana de Fórmulas de gasto y coeficientes por defecto con el panel de orificios activo. Se pueden observar los diferentes comportamientos posibles de un orificio y las ecuaciones por defecto.

6.3. Simulaciones

Para verificar el funcionamiento del simulador incluido en el software, definamos primero una escala para peces. En este ejemplo, hemos diseñado una escala para peces de hendidura vertical asociada a una presa donde también hemos decidido incluir un pequeño rebaje o canal que aumentará la atracción en la entrada de la escala. Después de diseñarla, Escalas ha rellenado automáticamente las ventanas de tabiques, vertido asociado y ha generado una simulación bajo condiciones de diseño (Figura 21, Figura 22 y Figura 23).

Tubiq	Tabiques	Ht (m)	B (m)	_	1 (i i+1) (m)	A7 (i ia	1) (m)	0	
	Tubiques	1.800	1.800		2 400	0.1	75		
	2	1.450	1.800		2.400	0.2	00		
	3	1.450	1.800		2 400	0.2	00	-	
	4	1.450	1,800		2.400	0.2	00	-	
	5	1.450	1.800		2.400	0.2	00		
	6	1,450	1.800		2.400	0.2	00		Nue
	7	1.450	1.800		2.400	0.2	00		NUC
	8	1.450	1.800		2.400	0.2	00		Man alla
	9	1.450	1.800		2.400	0.2	00		Modifi
	10	1.450	1.800		2.400	0.2	00		The second
	11	1.450	1.800		2.400	0.2	00	~	Elimi
Verte	deros, hendidu Tipo	ras y orificios Gasto	Coeficiente	b (m)	p (m)	a (m)	A (m		

Figura 21. Panel de tabiques de la escala de hendiduras vertical.



Figura 22. Panele de vertidos asociados a la escala. Azud y rebaje de atracción.

big	ues Vertidos	asociados	Simulaciones						
Sim	ulaciones								
	Indentificador	ΔH (m)	h.' (m)	h.' (m)	Qh (m³/s)	Qvs (m ² /s)	QI (m ³ /s)	Qo (m ³ /s)	QTotal (ma
	1	0.041	1.072	1.031	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	2	0.200	1.206	1.006	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	3	0.200	1.206	1.006	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	4	0.200	1.206	1.006	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	5	0.200	1.206	1.006	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	6	0.200	1.206	1.006	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	7	0.200	1.206	1.006	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	8	0.200	1.206	1.006	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	9	0.200	1.206	1.006	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	10	0.200	1.206	1.006	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	11	0.200	1.206	1.006	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	12	0.200	1.206	1.006	0.350	0.000	0.000	0.000	0.350
	Asociado 1	2.241	3.247	1.006	0.000	0.000	3.372	0.000	3.372
	Asociado 2	2.241	3.247	1.006	0.000	0.000	0.278	0.000	0.278
Es	cenario	nte por el río	(m ³ /c)·	la .	Informe	de Simulación			
	Altura de la lán	nina aquas a	(m/s).	1.006	Desnive	el total a salvar,	H (m): 2.241	m.	
1		guas a		Lose et al.	Potenci	a disipada:			
	Simular	Guardar	Eliminar	4/1 006		a anapada.			
	Simular	Guardar	Eliminar	4/1.006	× Nimeron			antennia dista	

Figura 23. Panel de simulación, con el funcionamiento hidráulico en condiciones de diseño.

En la simulación (Figura 23), podemos observar el identificador del tabique transversal de la escala, siendo el primero el tabique de más aguas arriba. Adicionalmente, podemos observar el identificador de las estructuras asociadas, la presa y el rebaje o canal de atracción. (asociados 1 y 2). En la siguiente columna tenemos los saltos de agua en cada uno de los tabiques transversales de la escala y en la presa y el canal, siendo estos últimos iguales a la altura total a superar (H). En la tercera y cuarta columna tenemos los niveles de agua aguas arriba y aguas abajo en los tabiques (desde el lecho hasta la lámina de agua, h₁' y h₂'). Finalmente tendremos los caudales, la suma de caudales que se comportan como una hendidura, vertedero sumergido, vertedero libre y orificios, y la suma total de caudales en cada tabique transversal.

Así mismo, podemos observar que el salto entre láminas (Δ H) en el primer tabique es diferente a las demás. Esto se debe a que se seleccionó el ajuste de salto a través del primer tabique de la escala donde se instalará una compuerta de 0,5 m. El resto de los tabiques presentan el salto de diseño (0,2 m).

Podemos observar también que, a pesar de la diferencia en saltos, el caudal circulante en cada uno de los tabiques de la escala es el mismo 0,350 m³/s. A través de la presa fluirá una caudal de 3,372 m³/s y de 0,278 m³/s en el canal de atracción.

Observando el informe de la simulación, todos los parámetros (potencia disipada y velocidad máxima) parecen compatibles para los peces de la especie objetivo de acuerdo a las restricciones impuestas:

Informe de Simulación Desnivel total a salvar, H (m): 2.241 m. Potencia disipada: Ninguno de los estanques supera la potencia disipada máxima definida. La máxima potencia disipada se da en el estanque situado aguas abajo del tabique 2 y su valor es de 143.684 W/m³. Velocidad: Ninguno de los vertederos supera la velocidad máxima definida. La máxima velocidad se da en el vertedero 2 y su valor es de 1.981 m/s.

Ahora veamos cómo se comporta la simulación una vez que cambiamos las condiciones de contorno.

Por ejemplo, simulemos un caudal del río de 12 m³/s que a su vez produce un aumento de 20 cm en el nivel de aguas abajo. Bajo este escenario, se puede observar que los desniveles entre láminas ahora producen un perfil no uniforme. El caudal total de la escala ha aumentado y los saltos entre láminas aguas abajo han aumentado. Esto afectará directamente a la potencia disipada de los estanques, así como a las velocidades en las hendiduras y algunas de ellas serán incompatibles para los peces de la especie objetivo.

Podemos guardar esta simulación para análisis posteriores y tratar de encontrar una solución a este escenario presionando el botón de guardar.

	aciones											
In	ndentificador	ΔH (m)	h₁' (m)	h₂' (m)	Qh (m ³ /s)	Qvs (m ³ /s)	QI (m ³ /s)	Qo (m ³ /s)	QTotal (m ³ /s)			
	1	0.045	1.359	1.314	0.473	0.000	0.000	0.000	0.473			
	2	0.200	1.489	1.289	0.450	0.000	0.023	0.000	0.473			
	3	0.200	1.489	1.289	0.450	0.000	0.023	0.000	0.473			
	4	0.200	1.489	1.289	0.450	0.000	0.023	0.000	0.473			
	5	0.200	1.489	1.289	0.450	0.000	0.023	0.000	0.473			
	6	0.200	1.489	1.288	0.450	0.000	0.023	0.000	0.473			
	7	0.200	1.488	1.288	0.450	0.000	0.023	0.000	0.473			
	8	0.201	1.488	1.287	0.451	0.000	0.023	0.000	0.473			
	9	0.202	1.487	1.285	0.451	0.000	0.022	0.000	0.473			
	10	0.207	1.485	1.278	0.453	0.000	0.020	0.000	0.473			
	11	0.220	1.478	1.258	0.459	0.000	0.014	0.000	0.473			
	12	0.252	1.458	1.206	0.471	0.000	0.002	0.000	0.473			
	Asociado 1	2.328	3.534	1.206	0.000	0.000	10.936	0.000	10.936			
	Asociado 2	2.328	3.534	1.206	0.000	0.000	0.590	0.000	0.590			
ce	nario		m ³ /c);	2	Informe	de Simulación			^			
Ja			ii /3j.	4	Destin	Despinel total a solver H (m): 2 228 m						
				200	Desnive	Desnivei total a salvar, H (m): 2.328 m.						
			alo (m):	ZUD		Describe the first state						

Figura 24. Simulación de la escala diseñada con un caudal por el río de 12 m³/s y una lámina aguas debajo de 1.206 m.

```
Informe de Simulación
Desnivel total a salvar, H (m): 2.328 m.
  _____
                             ___
Potencia disipada:
   -----
Algunos estanques superan el valor máximo definido para la potencia disipada:
  El estanque situado aguas abajo del vertedero 11.El estanque situado aguas abajo del vertedero 10.
  - El estanque situado aguas abajo del vertedero 9.
  - El estanque situado aguas abajo del vertedero 8.

El estanque situado aguas abajo del vertedero 7.
El estanque situado aguas abajo del vertedero 6.
El estanque situado aguas abajo del vertedero 5.
El estanque situado aguas abajo del vertedero 4.

  - El estanque situado aguas abajo del vertedero 3.
  - El estanque situado aguas abajo del vertedero 2.
                       _____
Velocidad:
                   _____
Algunos vertederos superan el valor máximo definido para la velocidad:
  - El tabique 12.
  - El tabique 11.
  - El tabique 10.
  - El tabique 9.
  - El tabique 8.
  - El tabique 7.
  - El tabique 6.
  - El tabique 5.
La máxima velocidad se da en el vertedero 12 y su valor es de 2.224 m/s.
```

De la misma forma podremos simular el efecto que tendrá un caudal bajo por el río en la escala.

Por ejemplo, un caudal de 0,5 m³/s con el mismo nivel de agua aguas abajo que en las condiciones de diseño (Figura 25), generará otro perfil no uniforme, donde en los tabiques aguas abajo reducirá el salto entre láminas. No obstante, bajo estas situaciones la mayor parte del caudal circulará por la escala y el rebaje de atracción lo que podrá permitir la localización de la escala por los peces. Bajo esta situación no se producirán valores incompatibles al paso de los peces de la especie objetivo.

ques Vertidos	asociados S	imulaciones						
nulaciones								
Indentificado	ΔH (m)	h₁' (m)	h₂' (m)	Qh (m³/s)	Qvs (m ³ /s)	QI (m³/s)	Qo (m³/s)	QTotal (m ³ /s)
1	0.042	0.857	0.815	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
2	0.200	0.990	0.790	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
3	0.199	0.990	0.791	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
4	0.199	0.991	0.792	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
5	0.198	0.992	0.794	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
6	0.196	0.994	0.798	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
7	0.193	0.998	0.805	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
8	0.188	1.005	0.817	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
9	0.179	1.017	0.837	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
10	0.166	1.037	0.872	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
11	0.146	1.072	0.926	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
12	0.120	1.126	1.006	0.276	0.000	0.000	0.000	0.276
Asociado 1	2.026	3.032	1.006	0.000	0.000	0.121	0.000	0.121
Asociado 2	2.026	3.032	1.006	0.000	0.000	0.102	0.000	0.102
scenario Caudal circula Altura de la lá	ante por el río (mina aguas at	m³/s): C pajo (m): 1	.006	Informe Desnive Potenci	de Simulación el total a salvar, a disipada:	H (m): 2.026	m.	^

Figura 25. Simulación de la escala diseñada con un caudal por el río de 0,5 m³/s y una lámina aguas debajo de 1.006 m.

Pasemos ahora al último capítulo, un ejemplo real donde se demostrará como implementar soluciones mediante escalas para abordar en efecto de la variabilidad hidrológica en la escala.

7. Ejemplo de diseño completo

En este capítulo, veremos el diseño real de una escala para peces de la familia de los ciprínidos, así como la forma de adaptarla a las oscilaciones del nivel del agua y caudal en el río. Para ello, utilizaremos el generador automático de escalas para peces.

7.1. Generador de escalas

El diseño consistirá en una escala para peces de vertederos y orificios sumergidos. La diferencia de nivel entre los estanques (ΔZ) será de 0,2 m (máximo recomendado en la base de datos de ciprínidos), lo que asegurará velocidades inferiores a 2 m/s. Además, para adaptar la estructura a la diferencia total de agua, se seleccionará un ajuste de ΔH utilizando el tabique

más aguas arriba. Es decir, mientras que el tabique tipo tendrá un salto de agua de 0,2 m, la salida de peces tendrá un salto menor. El caudal medio del río durante la temporada de migración, Q_{river} , es de 3,1 m³/s y se seleccionará un caudal de diseño a través de la escala para peces ($Q_{fishway}$) de 0,3 m³/s (aproximadamente el 10 % del caudal del río, según Larinier, (2002b)) (Figura 26).

🧟 Generador de escalas	-	×
Tipologias		
PWF_1	~	
Datos de partida		
Caudal circulante por la escala en la época de diseño (m³/s):	0.3	
Caudal circulante por el río en la situación de diseño (m³/s):	3.1	
Desnivel entre estanques (m) (en situación de diseño ΔΖ ≈ ΔΗ):	0.2	
Opción de ajuste		
 Ajustar a partir del primer vertedero 		
Ajustar disminuyendo el desnivel entre estangu	ies	
Aiustar aumentando el desnivel entre estanque		
0.		
$ \begin{array}{c} \mathbf{i} \\ \mathbf{b}_{n} \\ \mathbf{c} \\ c$		$\frac{2}{h_2}$
<atras s<="" td=""><td>iguiente></td><td>Salir</td></atras>	iguiente>	Salir

Figura 26. Ventana inicial del generador de escalas.

A continuación, será necesario definir las características geométricas del obstáculo. En la presa objeto de estudio, se realizará un rebaje para concentrar un flujo de atracción adicional. Considerando esto, la estructura asociada a la escala para peces consistirá en una presa de 33,5 m de ancho y una altura desde el nivel del agua aguas abajo (p') de 2,044 m y un rebaje de atracción de 1,5 m de ancho y 1,844 m de altura (20 cm de rebaje) (Figura 27).



Figura 27. Definición de las estructuras asociadas a la escala.

La longitud p' depende del nivel de aguas abajo en el azud o presa asociada. Seleccionar el nivel del agua aguas abajo siempre es difícil; podríamos seleccionar el nivel medio del agua durante la temporada de migración o el nivel del agua aguas abajo del escenario con la mayor diferencia entre los niveles de agua arriba y abajo. En cualquier caso, el funcionamiento final debe verificarse durante las simulaciones. Para este ejemplo, se elegirá el nivel medio del agua durante la temporada de migración de la especie objetivo, es decir el nivel de agua cuando circulen 3,1 m³/s por el río. Sin embargo, es una práctica común seleccionar el nivel del agua aguas abajo del escenario con la mayor diferencia entre los niveles de agua arriba y abajo (Wang, 2008).

Con las características geométricas definidas, Escalas calculará de forma automática el desnivel total a salvar (H) en condiciones de diseño. La altura total a superar será de 2,154 m y la escala para peces tendrá 10 estanques y 11 tabiques (Figura 28). Escalas predefine las dimensiones de las conexiones en los tabiques transversales según las restricciones definidas para las especies objetivo. Sin embargo, para evitar ahogamientos humanos, es una buena práctica considerar niveles de agua dentro de la escala con valores inferiores a la altura media del pecho (es decir, 1,3 m). Por lo tanto, se definirá una mayor anchura para el vertedero (0,3 m) que disminuirá las profundidades de la escala.



Figura 28. Vertedero tipo. A la izquierda propuesta por escalas, a la derecha disminución de anchura de vertedero para lograr profundidades menores a 1,3 m.

El dimensionamiento del estanque tipo será automático considerando las características de la escala para peces en la base de datos y las restricciones biológicas. La altura de los tabiques transversales y de los muros cajeros también se dimensionan considerando los valores del nivel del agua (Ht = 1,44 m y Hc = 1,64 m) (Figura 29). Estos son valores indicativos y solo influirán en el funcionamiento durante eventos extremos; por lo tanto, y para facilitar la construcción, se seleccionarán valores redondeados para estas variables (Ht = 1,5 m y Hc = 1,7 m).



Figura 29. Estanque tipo. A la izquierda propuesto por escalas, a la derecha modificado de altura de tabique y muro cajero.

El diseño finalizará con el dimensionamiento del tabique transversal más cercano al río, que consistirá en una hendidura o una compuerta. Considerando su salto de agua (0,154 m) y un ancho de 0,2 m, se requerirá un escalón (Δ Z) de 0,242 m para compensar el caudal a través del tabique tipo aguas abajo (Figura 30). Conexiones más anchas permiten una mejor regulación de niveles, una salida más fácil para los peces y serían menos susceptibles a obstrucciones. Por lo tanto, se seleccionará una compuerta de 0,3 m, aumentando automáticamente el escalón necesario (0,625 m) que se dimensionará automáticamente.



Figura 30. Tabique de entrada de agua. A la izquierda el propuesto por Escalas, a la derecha tras la modificación de la anchura de la hendidura o compuerta.

Al finalizar todos los pasos, el software proporciona todos los detalles de diseño de la estructura, así como del obstáculo y una simulación bajo condiciones uniformes, con las descargas a través del obstáculo y el canal de atracción.

iqu mi	les Vertidos a	sociados Sir	mulaciones						
	Indentificador	ΔH (m)	h,' (m)	h₂' (m)	Qh (m ³ /s)	Qvs (m ³ /s)	QI (m ³ /s)	Qo (m ³ /s)	QTotal (m ³ /s)
	1	0.154	0.767	0.612	0.300	0.000	0.000	0.000	0.300
	2	0.200	1.237	1.037	0.000	0.230	0.000	0.069	0.300
	3	0.200	1.237	1.037	0.000	0.230	0.000	0.069	0.300
	4	0.200	1.237	1.037	0.000	0.230	0.000	0.069	0.300
	5	0.200	1.237	1.037	0.000	0.230	0.000	0.069	0.300
	6	0.200	1.237	1.037	0.000	0.230	0.000	0.069	0.300
	7	0.200	1.237	1.037	0.000	0.230	0.000	0.069	0.300
	8	0.200	1.237	1.038	0.000	0.230	0.000	0.069	0.300
	9	0.200	1.238	1.038	0.000	0.230	0.000	0.069	0.300
	10	0.200	1.238	1.038	0.000	0.230	0.000	0.069	0.300
	11	0.200	1.238	1.038	0.000	0.230	0.000	0.069	0.300
	Asociado 1	2.154	3.192	1.038	0.000	0.000	2.309	0.000	2.309
	Asociado 2	2.154	3.192	1.038	0.000	0.000	0.491	0.000	0.491
so	cenario Caudal circulant	e por el río (r	n³/s): 3	.1	Informe	de Simulación			^
0					Desnive	l total a salvar,	H (m): 2.154	m.	

Figura 31. Simulación en condiciones de diseño automáticamente generada con escalas.

7.2. Modificaciones para condiciones de caudal alto

Ahora necesitamos asegurarnos de que la escala para peces diseñada funcione en los escenarios más adversos. Según los expertos, la escala para peces debe tener un rendimiento adecuado para el pasaje de los peces durante al menos 300 días al año (FAO/DVWK, 2002). Esta observación puede usarse para seleccionar el caudal máximo y mínimo para evaluar el funcionamiento de la escala para peces.

Para la escala para peces diseñada, el caudal máximo del río será de 12,4 m³/s, lo que provocará un aumento del nivel del agua aguas abajo del obstáculo de 0,6 m con respecto a la situación de diseño, es decir, 1,638 m. Al simular esta situación, observaremos un perfil de remanso no uniforme en la distribución del nivel del agua en los estanques, que disminuirá el salto de agua más aguas abajo, resultando en una reducción de la velocidad y la turbulencia en la entrada de los peces (Figura 32). Esto se traduce en una reducción en la atracción y, en consecuencia, será más difícil que los peces encuentren la entrada a la escala.

Indentificador AH (m) h' (m) h' (m) Qh (m³/s) Qv (m³/s) Ql (m³/s) Qo (m³/s) QTotal (m 1 0.163 0.967 0.804 0.389 0.000 0.000 0.000 0.389 2 0.199 1.429 1.230 0.000 0.319 0.000 0.0669 0.389 3 0.198 1.430 1.232 0.000 0.319 0.000 0.069 0.389 5 0.194 1.435 1.232 0.000 0.320 0.000 0.066 0.389 5 0.194 1.435 1.241 0.000 0.320 0.000 0.066 0.389 6 0.189 1.441 1.253 0.000 0.321 0.000 0.066 0.389 7 0.181 1.453 1.272 0.000 0.323 0.000 0.066 0.389 9 0.146 1.505 1.359 0.000 0.322 0.046 0.389 10 0.089 1.559 1.469 0.000 0.310 0.032 0.046 <t< th=""><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th></t<>										
Indentificador ΔH (m) h' (m) h' (m) Qh (m ³ /s) Qu (m ³ /s) Ql (m ³ /s) Ql (m ³ /s) QTotal (m 1 0.163 0.967 0.804 0.389 0.000 0.000 0.389 2 0.199 1.429 1.230 0.000 0.319 0.000 0.069 0.389 3 0.198 1.430 1.232 0.000 0.319 0.000 0.069 0.389 4 0.197 1.432 1.235 0.000 0.320 0.000 0.069 0.389 5 0.194 1.435 1.241 0.000 0.321 0.000 0.066 0.389 6 0.189 1.441 1.253 0.000 0.322 0.000 0.066 0.389 7 0.181 1.453 1.272 0.000 0.323 0.000 0.066 0.389 9 0.146 1.505 1.359 0.000 0.322 0.046 0.389 11 0.031<	iqu	ues Vertidos a	sociados S	Simulaciones						
Indentificador AH (m) h' (m) h' (m) Ch (m*)s) Qu	m	ulaciones								Contraction and an entraction
1 0.163 0.967 0.804 0.389 0.000 0.000 0.000 0.389 2 0.199 1.429 1.230 0.000 0.319 0.000 0.069 0.389 3 0.198 1.430 1.232 0.000 0.319 0.000 0.069 0.389 4 0.197 1.432 1.235 0.000 0.320 0.000 0.069 0.389 5 0.194 1.435 1.241 0.000 0.320 0.000 0.066 0.389 6 0.189 1.441 1.253 0.000 0.321 0.000 0.066 0.389 7 0.181 1.453 1.272 0.000 0.322 0.000 0.066 0.389 9 0.146 1.505 1.359 0.000 0.322 0.046 0.389 10 0.089 1.559 1.469 0.000 0.310 0.032 0.046 0.389 11 0.031 1.66		Indentificador	ΔH (m)	h,' (m)	h₂' (m)	Qh (m ³ /s)	Qvs (m ³ /s)	QI (m³/s)	Qo (m³/s)	QTotal (m ³ /s)
2 0.199 1.429 1.230 0.000 0.319 0.000 0.069 0.389 3 0.198 1.430 1.232 0.000 0.319 0.000 0.069 0.389 4 0.197 1.432 1.235 0.000 0.320 0.000 0.069 0.389 5 0.194 1.435 1.241 0.000 0.320 0.000 0.068 0.389 6 0.189 1.441 1.253 0.000 0.321 0.000 0.067 0.389 7 0.181 1.453 1.272 0.000 0.323 0.000 0.066 0.389 8 0.167 1.472 1.305 0.000 0.329 0.001 0.059 0.389 10 0.089 1.559 1.469 0.000 0.361 0.000 0.027 0.389 11 0.031 1.669 1.638 0.000 0.361 0.000 10.973 Asociado 1 1.754 3.392 1.638 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.0		1	0.163	0.967	0.804	0.389	0.000	0.000	0.000	0.389
3 0.198 1.430 1.232 0.000 0.319 0.000 0.069 0.389 4 0.197 1.432 1.235 0.000 0.320 0.000 0.069 0.389 5 0.194 1.435 1.241 0.000 0.320 0.000 0.066 0.389 6 0.189 1.441 1.253 0.000 0.321 0.000 0.066 0.389 7 0.181 1.453 1.272 0.000 0.325 0.000 0.066 0.389 8 0.167 1.472 1.305 0.000 0.325 0.000 0.066 0.389 9 0.146 1.505 1.359 0.000 0.329 0.001 0.059 0.389 10 0.089 1.559 1.469 0.000 0.310 0.032 0.046 0.389 Ascciado 1 1.754 3.392 1.638 0.000 0.361 0.000 1.038 Ascciado 2 1.754 3.392 1.638 0.000 1.038 0.000 1.038 <td></td> <td>2</td> <td>0.199</td> <td>1.429</td> <td>1.230</td> <td>0.000</td> <td>0.319</td> <td>0.000</td> <td>0.069</td> <td>0.389</td>		2	0.199	1.429	1.230	0.000	0.319	0.000	0.069	0.389
4 0.197 1.432 1.235 0.000 0.320 0.000 0.069 0.389 5 0.194 1.435 1.241 0.000 0.320 0.000 0.068 0.389 6 0.189 1.441 1.253 0.000 0.321 0.000 0.067 0.389 7 0.181 1.453 1.272 0.000 0.323 0.000 0.066 0.389 8 0.167 1.472 1.305 0.000 0.322 0.000 0.066 0.389 9 0.146 1.505 1.359 0.000 0.322 0.010 0.059 0.389 10 0.089 1.559 1.469 0.000 0.310 0.032 0.046 0.389 11 0.031 1.669 1.638 0.000 0.361 0.000 1.027 0.389 Asociado 2 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 Escenario <		3	0.198	1.430	1.232	0.000	0.319	0.000	0.069	0.389
5 0.194 1.435 1.241 0.000 0.320 0.000 0.068 0.389 6 0.189 1.441 1.253 0.000 0.321 0.000 0.067 0.389 7 0.181 1.453 1.272 0.000 0.323 0.000 0.066 0.389 8 0.167 1.472 1.305 0.000 0.325 0.000 0.063 0.389 9 0.146 1.505 1.359 0.000 0.322 0.046 0.389 10 0.089 1.559 1.469 0.000 0.310 0.032 0.046 0.389 11 0.031 1.669 1.638 0.000 0.361 0.000 0.027 0.389 Asociado 1 1.754 3.392 1.638 0.000 1.038 0.000 10.973 0.000 1.038 Caudal circulante por el río (m³/s): 12.4		4	0.197	1.432	1.235	0.000	0.320	0.000	0.069	0.389
6 0.189 1.441 1.253 0.000 0.321 0.000 0.067 0.389 7 0.181 1.453 1.272 0.000 0.323 0.000 0.066 0.389 8 0.167 1.472 1.305 0.000 0.325 0.000 0.063 0.389 9 0.146 1.505 1.359 0.000 0.329 0.001 0.059 0.389 10 0.083 1.559 1.469 0.000 0.310 0.032 0.044 0.389 11 0.031 1.669 1.638 0.000 0.361 0.000 0.027 0.389 Asociado 1 1.754 3.392 1.638 0.000 1.038 0.000 10.973 0.000 10.973 Asociado 2 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 1.038 0.000 1.038		5	0.194	1.435	1.241	0.000	0.320	0.000	0.068	0.389
7 0.181 1.453 1.272 0.000 0.323 0.000 0.066 0.389 8 0.167 1.472 1.305 0.000 0.325 0.000 0.063 0.389 9 0.146 1.505 1.359 0.000 0.322 0.001 0.059 0.389 10 0.089 1.559 1.469 0.000 0.310 0.032 0.046 0.389 11 0.031 1.669 1.638 0.000 0.361 0.002 0.027 0.389 Asociado 1 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 1.0373 0.000 10.973 Asociado 2 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 1.038 0.000 1.038 Informe de Simulación Caudal circulante por el río (m³/s): 12.4 Altura de la lámina aguas abajo (m): 1.638 Potencia disipada:		6	0.189	1.441	1.253	0.000	0.321	0.000	0.067	0.389
8 0.167 1.472 1.305 0.000 0.325 0.000 0.063 0.389 9 0.146 1.505 1.359 0.000 0.325 0.001 0.059 0.389 10 0.089 1.559 1.469 0.000 0.310 0.032 0.046 0.389 11 0.031 1.669 1.638 0.000 0.361 0.000 0.027 0.389 Asociado 1 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 10.973 0.000 10.973 Asociado 2 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 0.000 1.038 <t< td=""><td></td><td>7</td><td>0.181</td><td>1.453</td><td>1.272</td><td>0.000</td><td>0.323</td><td>0.000</td><td>0.066</td><td>0.389</td></t<>		7	0.181	1.453	1.272	0.000	0.323	0.000	0.066	0.389
9 0.146 1.505 1.359 0.000 0.329 0.001 0.059 0.389 10 0.089 1.559 1.469 0.000 0.310 0.032 0.046 0.389 11 0.031 1.669 1.638 0.000 0.361 0.000 0.027 0.389 Asociado 1 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 10.973 0.000 10.973 Asociado 2 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 1.038 0.000 1.038 Escenario Caudal circulante por el río (m³/s): 12.4 Altura de la lámina aguas abajo (m): 1.638 Tecina disipada:		8	0.167	1.472	1.305	0.000	0.325	0.000	0.063	0.389
10 0.089 1.559 1.469 0.000 0.310 0.032 0.046 0.389 11 0.031 1.669 1.638 0.000 0.361 0.000 0.027 0.389 Asociado 1 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 10.973 0.000 10.973 Asociado 2 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 1.038 0.000 1.038 Escenario Informe de Simulación Desnivel total a salvar, H (m): 1.754 m. Potencia disipada: Potencia disipada: Potencia disipada:		9	0.146	1.505	1.359	0.000	0.329	0.001	0.059	0.389
11 0.031 1.669 1.638 0.000 0.361 0.000 0.027 0.389 Asociado 1 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 10.973 0.000 10.973 Asociado 2 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 1.038 0.000 1.038 Scenario		10	0.089	1.559	1.469	0.000	0.310	0.032	0.046	0.389
Asociado 1 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 10.973 0.000 10.973 Asociado 2 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 1.038 0.000 1.038 iscenario		11	0.031	1.669	1.638	0.000	0.361	0.000	0.027	0.389
Asociado 2 1.754 3.392 1.638 0.000 0.000 1.038 0.000 1.038 Escenario Informe de Simulación Desnivel total a salvar, H (m): 1.754 m. Desnivel total a salvar, H (m): 1.754 m. Potencia disipada:		Asociado 1	1.754	3.392	1.638	0.000	0.000	10.973	0.000	10.973
Escenario Caudal circulante por el río (m³/s): Altura de la lámina aguas abajo (m): 1.638 Potencia disipada:		Asociado 2	1.754	3.392	1.638	0.000	0.000	1.038	0.000	1.038
Caudal circulante por el río (m ³ /s): 12.4 Altura de la lámina aguas abajo (m): 1.638 Potencia disipada:	s	cenario				Informe	de Simulación			
Potencia disipada:	0	Caudal circulan	te por el río	(m³/s): 1	2.4	Desnive	el total a salvar,	H (m): 1.754	m.	
Simular Guardar Eliminar	-		na ayuas a	Eliminar	.000	Potenci	a disipada:			

Figura 32. Simulación de la escala en escenarios con un caudal por el río de 12,4 m3/s y uaaltura de láminas aguas abajo de 1,638 m.

Una solución directa a este problema será el aumento del umbral del vertedero de más aguas abajo durante caudales bajos, por ejemplo, mediante ranuras en el vertedero que permitan insertar una lámina metálica o de madera (tajadera) que permita aumentar el salto. Esto puede simularse aumentando 0,4 m el umbral en el muro transversal de más aguas abajo y comprobando nuevamente los resultados de la simulación (Figura 33, Figura 34 y Figura 35).



Figura 33. Modificado dela altura de tabique y la altura del cajero para evitar desbordamientos ante el aumento del umbral, en ambos casos +0,3 m.

Vertidos as	ociados Simulacion	nes								Fórmula de gasto: 2 rob
es										Coeficiente de gasto: 044'(
Tabiques	Ht (m)	B (m)	L (i,i+1) (m)	ΔZ	(i,i+1) (m)				
1	1.458	1.50	Ď	2.700		0.625				
2	1.500	1.50	D	2.700		0.200				
3	1.500	1.50	D	2.700		0.200				b <mark>++</mark>
4	1.500	1.50	D	2.700	10	0.200				
5	1.500	1.50	D	2.700		0.200				p
6	1.500	1.50	D	2.700		0.200	Nuevo		-	
7	1.500	1.50	D	2.700		0.200				
8	1.500	1.50	D	2.700		0.200	Modificar			
9	1.500	1.50	D	2.700		0.200	mouniou			Aplear
10	1.500	1.50	0	2.700		0.200	Fliminar		🐼 Nuevo vertedero, her	ididura o orificio
16	1.800	1.50	0	0.000		0.000	Linning			
									Sumergido	Anchura, b (m):
eros, nenalau	ras y ornicios				- 6 - 5	1.1.1			Orificio	Altura del umbral, p (m):
Тіро	Gasto	Coeficiente	D (m)	p (m)	a (m)	A (m)				Eórmula de casto: 2/3/cth
Sumergido	2/3*c*b*h1*(2*	0.644*(1-(h2/h	0.300	0.600	0.000	0.000				
Orificio	c^A^(2*g*AH)*0.5	0.876	0.200	0.000	0.200	0.040				Coeficiente de gasto: 0 844*(
							Nuevo			
							NUCYO	_		b • •
							Modificar			Ď
										1.1

Figura 34. Modificado de la altura del umbral +0.4 m en el vertedero del tabique más aguas abajo.

Sim	ulaciones	SOCIACIÓS SI	nulaciones							
-	Indentificador	ΔH (m)	h₁' (m)	h₂' (m)	Qh (m ³ /s)	Qvs (m ³ /s)	QI (m ³ /s)	Qo (m ³ /s)	QTotal (m ³)	
	1	0.162	0.967	0.804	0.388	0.000	0.000	0.000	0.388	
	2	0.198	1.429	1.231	0.000	0.319	0.000	0.069	0.388	
	3	0.197	1.431	1.234	0.000	0.319	0.000	0.069	0.388	
	4	0.194	1.434	1.240	0.000	0.320	0.000	0.068	0.388	
	5	0.189	1.440	1.251	0.000	0.321	0.000	0.068	0.388	
	6	0.181	1.451	1.270	0.000	0.322	0.000	0.066	0.388	
	7	0.168	1.470	1.302	0.000	0.325	0.000	0.064	0.388	
	8	0.148	1.502	1.353	0.000	0.328	0.000	0.060	0.388	
	9	0.095	1.553	1.459	0.000	0.312	0.028	0.048	0.388	
	10	0.034	1.659	1.625	0.000	0.360	0.000	0.029	0.388	
	11	0.187	1.825	1.638	0.000	0.312	0.009	0.067	0.388	
	Asociado 1	1.754	3.392	1.638	0.000	0.000	10.973	0.000	10.973	
	Asociado 2	1.754	3.392	1.638	0.000	0.000	1.038	0.000	1.038	
Es	cenario				Informe	de Simulación				
Caudal circulante por el río (m³/s): 12.4 Altura de la lámina aguas abajo (m): 1.638					Desnive	Desnivel total a salvar, H (m): 1.754 m.				
					Desnive Potenci	Desnivel total a salvar, H (m): 1.754 m. Potencia disipada:				
-	Simular Guardar Eliminar ~				Nie was de les estenesses europe le petropie d'était					

Figura 35. Simulación tras el modificado.

Como se puede ver, con esta solución casi recuperamos el salto de agua de diseño en la entrada de peces, resolviendo el posible problema de atracción. Esto es más fácil de ver al trazar el perfil de saltos de agua sobre los tabiques durante las condiciones de diseño junto con los resultados durante una caudal elevado sin y con solución (Figura 36).



Figura 36. Resumen del funcionamiento del umbral variable.

7.3. Modificaciones para condiciones de caudal bajo

El caudal más bajo del río en el que nos interesa que la escala funcione es de 0,775 m³/s, con una disminución en el nivel del agua aguas abajo de 0,5 m con respecto a la situación de diseño, es decir, 0,538 m. Las nuevas condiciones límite generarán un perfil que excede la velocidad máxima recomendada para los ciprínidos objeto de estudio, y aumentará la turbulencia, lo que puede limitar la entrada de los peces.

```
Informe de Simulación

Desnivel total a salvar, H (m): 2.566 m.

Potencia disipada:

Algunos estanques superan el valor máximo definido para la potencia disipada:

- El estanque situado aguas abajo del vertedero 10.

Velocidad:

Algunos vertederos superan el valor máximo definido para la velocidad:

- El tabique 7, 6, 5, 4, 3, 2

La máxima velocidad se da en el vertedero 11 y su valor es de 3.073 m/s.
```

		5								
ques Vertidenulaciones	os asociados S	Simulaciones								
Indentificad	dor <u>AH (m)</u>	h₁' (m)	h₂' (m)	Qh (m ³ /s)	Qvs (m ³ /s)	QI (m ³ /s)	Qo (m ³ /s)	QTotal (m ³ /s)		
1	0.151	0.679	0.529	0.263	0.000	0.000	0.000	0.263		
2	0.200	1.154	0.954	0.000	0.193	0.000	0.069	0.263		
3	0.200	1.154	0.953	0.000	0.193	0.000	0.069	0.263		
4	0.201	1.153	0.953	0.000	0.193	0.000	0.070	0.263		
5	0.202	1.153	0.951	0.000	0.193	0.000	0.070	0.263		
6	0.203	1.151	0.948	0.000	0.193	0.000	0.070	0.263		
7	0.207	1.148	0.941	0.000	0.192	0.000	0.071	0.263		
8	0.214	1.141	0.927	0.000	0.191	0.000	0.072	0.263		
9	0.231	1.127	0.896	0.000	0.188	0.000	0.075	0.263		
10	0.277	1.096	0.819	0.000	0.181	0.000	0.082	0.263		
11	0.481	1.019	0.538	0.000	0.000	0.155	0.108	0.263		
Asociado	1 2.566	3.104	0.538	0.000	0.000	0.213	0.000	0.213		
Asociado	2 2.566	3.104	0.538	0.000	0.000	0.299	0.000	0.299		
scenario				Informe	de Simulación					
Caudal circulante por el río (m³/s): 0.775 Altura de la lámina aguas abaio (m): 0.538					Desnivel total a salvar, H (m): 2.566 m.					
Simular	Guardar	Eliminar		Potenci	Potencia disipada:					
Simular Guardar Eliminar ×				~	Algunos estangues superan el valor máximo definido para la					

Figura 37. Simulación de la escala en escenario con un caudal por el río de 0,775 m³/s y una altura de láminas aguas abajo de 0,538 m.

En esta situación, reducir la altura del umbral no resolverá el problema. Una mejor alternativa es el uso de pre-barreras aguas abajo de la entrada de peces de la escala que solo funcionarán bajo escenarios de caudal bajo. Estas pre-barreras absorberán el salto entre láminas en la entrada de peces y, en consecuencia, la velocidad y la turbulencia se reducirán a valores admisibles, manteniendo al mismo tiempo una profundidad de agua suficiente en la entrada que ayude a los peces a entrar en la escala.

Las pre-barreras pueden simularse en Escalas insertando nuevos tabiques aguas abajo y después ejecutando nuevamente las simulaciones. Como se puede ver, dos pre-barreras de 0,25 m de ancho pueden absorber el salto de agua, pero dejan de funcionar bajo el caudal de diseño. Escalas permite dimensionar estas pre-barreras, probando diferentes combinaciones.



Figura 38. Geometría de las dos nuevas pre-barreras insertadas. Estas ecuaciones de gasto se harán de piedra por tanto su coeficiente de gasto variará respecto al utilizado para vertederos en la escala: $Q = 2/3 \cdot c \cdot b \cdot h_1 \cdot (2 \cdot g \cdot h_1)^{0.5}$ y $c = 0.812 \cdot (1 - (h_2/h_1)^{1.5})^{0.335}$. Estas ecuaciones están disponibles en Fuentes-Pérez et al., (2017).

	Indentificador	ALL (ma)	h ! /m)	h ! (m)	Ob (m3/a)	0.10 (m3/a)	OL (m3/o)	Oc (m3/c)	OTetel (m3/e	
-	Indentificador		n; (m)	n₂ (m)	Qn (m-/s)	QVS (III-/S)	QI (III-/S)	Q0 (m-/s)	Q TOLAI (III-/S	
•	1	0.150	0.679	0.529	0.263	0.000	0.000	0.000	0.263	
_	2	0.200	1.154	0.954	0.000	0.193	0.000	0.069	0.263	
_	3	0.200	1.154	0.954	0.000	0.193	0.000	0.069	0.263	
	4	0.200	1.154	0.954	0.000	0.193	0.000	0.069	0.263	
	5	0.200	1.154	0.954	0.000	0.193	0.000	0.069	0.263	
	6	0.200	1.154	0.954	0.000	0.193	0.000	0.069	0.263	
	/	0.200	1.154	0.955	0.000	0.193	0.000	0.069	0.263	
	8	0.199	1.155	0.956	0.000	0.193	0.000	0.069	0.263	
	9	0.198	1.156	0.957	0.000	0.194	0.000	0.069	0.263	
	10	0.196	1.157	0.961	0.000	0.194	0.000	0.069	0.263	
	11	0.193	1.161	0.968	0.000	0.194	0.000	0.068	0.263	
_	12	0.218	0.968	0.751	0.000	0.250	0.013	0.000	0.263	
	13	0.213	0.751	0.538	0.000	0.263	0.000	0.000	0.263	
	Asociado 1	2.566	3.104	0.538	0.000	0.000	0.299	0.000	0.299	
Escenario Caudal circulante por el río (m³/s): 0.775					Informe	Informe de Simulación				
					Desnive	Desnivel total a salvar, H (m): 2.567 m.				

Figura 39. Simulación de la escala en escenario con un caudal por el río de 0,775 m3/s y una altura de láminas aguas abajo de 0,538 m, tras insertar do pre-barreras aguas abajo.



Figura 40. Esquema de funcionamiento tras insertar las pre-barreras.

Con todo esto, ya hemos dimensionado la escala para peces y la hemos adaptado para

oscilaciones de caudal, asegurando que la escala para peces permitirá el libre movimiento de los peces bajo diversos escenarios hidronímicos.

8. Reporte de Errores

Esta guía está en constante revisión. Los video tutoriales son una parte esencial de la misma, proporcionando una ilustración más detallada de los conceptos abordados en la guía.

Para reportar errores en el software o en la guía, así como para sugerir mejoras en ambos, no dude en contactar con los diseñadores a través de nuestra página web (<u>www.gea-ecohidraulica.org</u>) o por correo electrónico (<u>info@gea-ecohidraulica.org</u>).

9. Notación

Los siguientes símbolos se han utilizado en esta guía:

A	=	superficie del orificio (para orificios rectangulares $A = a_o \cdot b_o$) (m ²)
а	=	altura del orificio (m)
В	=	anchura del estanque (m)
b	=	anchura del vertedero, hendidura u orificio (m)
Co	=	coeficiente de gasto
е	=	espesor de tabique (m)
н	=	altura total del obstáculo (m)
h ₀	=	altura de lámina de agua media en el estanque con relación al centro del
estanq	ue (m)	
h1	=	altura de lámina de agua aguas arriba del tabique medida desde el umbral (m)
h'1	=	altura de lámina de agua aguas arriba del tabique (m)
h2	=	altura de lámina de agua aguas abajo del tabique medida desde el umbral (m)
h'2	=	altura de lámina de agua aguas abajo del tabique (m)
H _c	=	altura de muro cajero (m)
H _t	=	altura de tabique (m)
		20

L	=	longitud del estanque(m)
p	=	altura del umbral (m)
p'	=	altura desde lamina de aguas abajo a vértice del umbral (m)
Q	=	caudal (m³/s)
Qo	=	caudal por orificios (m ³ /s)
Q _{vs}	=	caudal circulante por vertedero de forma sumergida (m ³ /s)
Qriver	=	caudal por el río (m³/s)
Q _h	=	caudal circulando por hendidura (m ³ /s)
Qı	=	caudal circulante por vertedero en forma de vertido libre (m ³ /s)
Qτ	=	caudal total (m ³ /s)
ΔH	=	salto de agua entre estanque ($\Delta H = h_1 - h_2$) (m)
ΔZ	=	diferencia topográfica entre estanques (m)

10. Material de apoyo y referencias

FAO/DVWK, 2002. Fish Passes: Design, Dimensions, and Monitoring. FAO, Rome, Italy.

- Fuentes-Pérez, J.F., García-Vega, A., Sanz-Ronda, F.J., Martínez de Azagra Paredes, A., 2017.
 Villemonte's approach: validation of a general method for modeling uniform and nonuniform performance in stepped fishways. Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst. 418, 23. doi:10.1051/kmae/2017013
- Fuentes-Pérez, J.F., Sanz-Ronda, F.J., Martínez de Azagra-Paredes, A., García-Vega, A., 2016. Non-uniform hydraulic behavior of pool-weir fishways: A tool to optimize its design and performance. Ecol. Eng. 86, 5–12. doi:10.1016/j.ecoleng.2015.10.021
- Fuentes-Pérez, J.F., Sanz-Ronda, F.J., Martínez de Azagra, A., García-Vega, A., Martínez de Azagra Paredes, A., García-Vega, A., 2014. Modeling Water-Depth Distribution in Vertical-Slot Fishways under Uniform and Nonuniform Scenarios. J. Hydraul. Eng. 140, 06014016. doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000923

- Fuentes-Pérez, J.F., Tuhtan, J.A., Eckert, M., Romão, F., Ferreira, M.T., Kruusmaa, M., Branco,
 P., 2019. Hydraulics of vertical-slot fishways: Nonuniform profiles. J. Hydraul. Eng. 145.
 doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001565
- Larinier, M., 2002a. Pool fishways, pre-barrages and natural bypass channels. Bull. Fr. Pêche Piscic. 364, 54–82. doi:10.1051/kmae/2002108
- Larinier, M., 2002b. Biological factors to be taken into account in the design of fishways, the concept of obstructions to upstream migration. Bull. Fr. Pêche Piscic. 364, 28–38. doi:10.1051/kmae/2002105
- Rajaratnam, N., Katopodis, C., Solanki, S., 1992. New designs for vertical slot fishways. Can. J. Civ. Eng. 19, 402–414. doi:10.1139/l92-049
- Rajaratnam, N., Van der Vinne, G., Katopodis, C., 1986. Hydraulics of vertical slot fishways. J. Hydraul. Eng. 112, 909–927. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1986)112:10(909)
- Wang, R.W., 2008. Aspects of design and monitoring of nature-like fish passes and bottom ramps. Tech. Univ. München. Technische Universität München., München (Germany).