

ANEXO IV. MANUAL DE USUARIO. FISHXING V 2.1

El siguiente documento recoge el manual de instrucciones del programa FishXing 2.1 (traducción literal del original: Love, M 1999. *FishXing Version 2.1* [manual de instrucciones]. FishXing Project, Six River National Forest Watershed Interactions Team), que es el que actualmente se encuentra disponible en la página web del programa (<http://www.streamfs.fed.us/fishxing>). La versión disponible del programa en dicha página es la 2.2, pero de momento los programadores no han actualizado el fichero del manual de instrucciones, aspecto por otro lado que no tiene mayor importancia pues el contenido de ambas versiones (2.1 y 2.2) es prácticamente el mismo.

De		Multiplicar por	Para	
Unidad	Abreviatura		Unidad	Abreviatura
metro cúbicos por segundo	m ³ /s	35,3107	pie cúbico por segundo	ft ³ /s
metro	m	3,2808	pie	ft
metro cuadrado	m ²	10,7643	pie cuadrado	ft ²
metro cúbico	m ³	35,3107	pie cúbico	ft ³
centímetro	cm	0,3937	pulgada	in
metro por segundo	m/s	3,2808	pie por segundo	ft/s

El CD incluido en el reverso de la contraportada de este tomo incluye un fichero word con estas instrucciones así como el programa FishXing v 2.2 y el anexo V sobre la ficha de campo.

Six Rivers Watershed Interactions Team



FishXing

Versión 2.1

Manual de usuario

Noviembre 1999

Este documento es una recopilación del sistema de ayuda que presenta el programa FishXing v. 2.1. Los usuarios pueden encontrar más fácil familiarizarse con FishXing al ir sacando la información de dicho sistema de ayuda según van probando las distintas opciones del programa, dado que en el programa los temas de ayuda, a parte de ser tratados con mayor profundidad, están unidos mediante hipervínculos lo que facilita la comprensión y el seguimiento de los temas de ayuda. No obstante, la lectura de este manual proporcionará al usuario una primera visión general del programa, de sus bases analíticas, y de los fundamentos del paso de los peces en los caños de drenaje.

Índice

	<u>Página</u>
I- CAUDALES DE DISEÑO DE PASO PARA PECES	5
I.I- CRITERIOS BÁSICOS SOBRE CAUDALES DE DISEÑO.	5
II- PASOS EXISTENTES DE CAMINOS SOBRE RÍOS.	7
II.I- COLECCIÓN DE DATOS NECESARIOS PARA INICIAR EL PROGRAMA.	7
III- COMENZANDO A USAR FISHXING.	9
III.I- FORMATO DEL PROYECTO.	9
III.II- RESUMEN DEL PROYECTO.	9
III.III- GESTIÓN DE ARCHIVOS.	10
IV- ENTRADAS DEL SOFTWARE.	11
IV.I- HOJA DE INFORMACIÓN DEL CAÑO.	11
IV.II- HOJA DE ENTRADA DE DATOS.	12
a. Entradas relativas a los peces.	13
b. Datos del caño.	18
IV.III- OPCIONES AGUAS ABAJO DEL CAÑO.	24
a. Hoja de opciones a la salida del caño.	24
V- RESULTADOS.	30
V.I- HOJA ¿Y AHORA QUÉ?.	30
a. Generar un informe.	30
b. Perfiles hidráulicos.	31
c. Interpretando los efectos de remanso.	34
d. Resultados para condiciones de flujo uniforme.	36

VI- HIDRÁULICA DE LOS CAÑOS.	43
VI.I- DEFINICIÓN DE CALADO NORMAL.	43
VI.II- MÁXIMA VELOCIDAD ADMISIBLE DEL AGUA.	43
VI.III- CÁLCULOS PARA LOS SALTOS.	43
VI.IV- ECUACIONES PARA LOS CAÑOS CIRCULARES.	47
VI.V- ECUACIÓN DE MANNING.	48
VI.VI-RUGOSIDAD PONDERADA.	48
VI.VII- NÚMERO DE FROUDE.	48
VI.VIII- CAÑOS HUNDIDOS.	49
VI.IX- INTERPOLACIÓN LINEAL.	49
VI.X- EXTRAPOLACIÓN LINEAL.	49
VI.XI- FACTORES DE REDUCCIÓN DE LA VELOCIDAD.	49
VI.XII- VELOCIDAD DE ENTRADA.	50
VI.XIII- SALIDA COLGADA.	51
VI.XIV- TRAMO DEL RÍO AGUAS ABAJO DEL CAÑO.	51
VI.XV- EJEMPLO DE SECCIÓN TRANSVERSAL.	51
VI.XVI- PUNTO INFERIOR DE LA SECCIÓN DE ENTRADA.	52
VI.XVII- PUNTO INFERIOR DE LA SECCIÓN DE SALIDA.	52
VI.XVIII- PUNTO INFERIOR DEL ESTANQUE DE SALIDA.	52
VI.XIX- PENDIENTE DEL CAUCE.	52
VI.XX- VELOCIDADES DE NADO PREDETERMINADAS.	53

I. Caudales de diseño de paso para peces.

I.I Criterios básicos sobre caudales de diseño.

Muchas agencias estatales y federales tienen desarrollados criterios y líneas básicas sobre el paso de los peces en los caños de drenaje en carreteras. Normalmente, estas líneas generales incluyen métodos regionales para determinar el caudal máximo y mínimo en el diseño de paso de los peces. La mayoría de estos criterios para la elección de los caudales están condicionados al comportamiento migratorio de la especie objetivo que estamos considerando así como a la hidrología de ámbito regional.

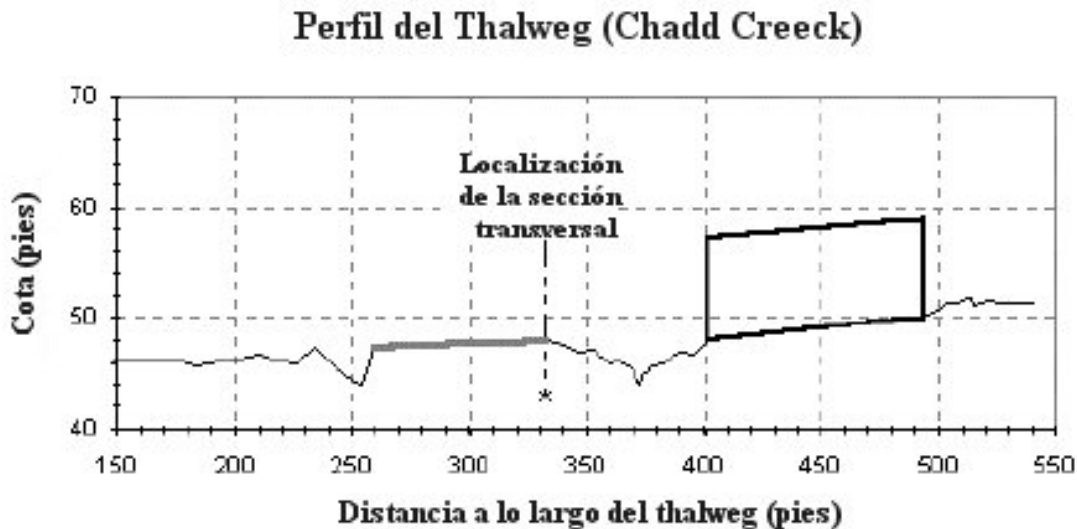
Organismo	Especies	Caudal mínimo de paso	Caudal máximo de paso
California Dept. Transportation District 1 (1)	Salmónidos anadromos adultos	Ninguno	Caudal excedido un 10% durante periodo de migración
USDA Forest Service (2)	Salmónidos anadromos adultos	Ninguno	Caudal excedido un 10% durante periodo de migración
Alaska Dept. Transportation (3)	Todas	Caudal mínimo 7-días con periodos de retorno 5 y 10 años	Duración de 3-días con periodo de retorno de 10 años
California Dept. Fish and Game (4)	Salmónidos anadromos adultos	La mediana en la curva de caudales (percentil 50%)	Caudal excedido un 10% durante periodo de migración o un 5% durante el año
Washington Dept. Fish and Wildlife (5,6)	Salmónidos anadromos adultos	Caudal mínimo 7-días con periodo de 2 años	Caudal excedido un 10% durante periodo de migración
Oregon Forest. Practices Draft Proposal (7)	Salmónidos anadromos adultos	Caudal excedido un 95% durante el periodo de migración	Caudal excedido un 10% durante periodo de migración
Manitoba Dept. Natural Resources Fisheries Branch (8)	Peces con migración de freza	Ninguno	Duración de 3-días para el módulo medio anual y duración 7-días con periodo retorno 50 años

N.T.: Un caudal mínimo 7-días (Q7) es el caudal medio medido durante los siete días consecutivos de menor caudal durante un año cualquiera. Cuando se aplica a un periodo de retorno dado, se está calculando el caudal mínimo medio que cabe esperar durante una sucesión de 7 días con una recurrencia igual al periodo de retorno considerado.

- (1) Kay, A.R. and R.B. Lewis. 1970. Passage of anadromous fish thru highway drainage structures. State of California, Division of Highways, Research Report 629110, June 1970, 15 pp.
- (2) Evans, Willis A. and Beryl Johnston. 1980. Fish migration and fish passage: A practical guide to solving fish passage problems. USDA Forest Service, June 1980, 63 pp.
- (3) Ashton, William S. and Robert F. Carlson. 1984. Determination of seasonal, frequency and durational aspects of stream flow with regard to fish passage through road drainage structures. State of Alaska, Dept. Transportation and Public Facilities, Div. Planning and Programming Research Section, Report No. AK-RD-85-06, November 1984, 51 pp.
- (4) Department culvert criteria for fish passage. In: Departmental Guidelines. State of California, Dept. Fish and Game, p. VIII-9.
- (5) Powers, Patrick D. and Caleb S. Saunders. 1998. Fish passage design flows for ungaged catchments in Washington. Lands and Restoration Services. Prepared for: Washington State Dept. Transportation, March 1998, 9 pp.
- (6) Bates, Ken. 1999. Fish passage design at road culverts: A design manual for fish passage at road crossings. Washington Dept. Fish and Wildlife, Habitat and Lands Program, Environmental Engineering Division, March 1999, 49 pp.
- (7) Applegate, Rick and Elizabeth Holmes Gaar. 1998. A draft proposal concerning Oregon forest practices. National Marine Fisheries Service, Northwest Region, February 1998, pp. VI.1-5.
- (8) Manitoba Department of Natural Resources. 1984. Recommended fish protection procedures for stream crossings in Manitoba. Manitoba Dept. Natural Resources, Fisheries Branch, 46 pp.

II. Pasos existentes de caminos sobre ríos.

II.I Colección de datos de campo necesarios para iniciar el programa.



Para obtener los datos que necesitamos como punto de partida para usar FishXing, hace falta tener levantado topográficamente el perfil del thalweg del cauce del curso de agua en el que vayamos a trabajar. Se puede escoger de entre dos niveles de precisión en dicho levantamiento, elección que depende del método de estudio de las condiciones aguas abajo del caño que vayamos a usar. El método del nivel del agua aguas abajo del caño constante es el que requiere de menos información.

El levantamiento del perfil debe cubrir los siguientes aspectos:

- Punto de menor cota de la sección de entrada del caño (*inlet bottom*).
- Punto de menor cota de la sección de salida del caño (*outlet bottom*).
- Punto de control de las condiciones de aguas abajo del caño (*tailwater control*).
- El perfil del cauce aguas abajo (*downstream channel*).

Cuando se decida usar el método de la sección transversal para crear la curva de gasto, se deberá disponer además de:

- Una sección transversal del cauce en el punto de control escogido aguas abajo del caño.

- La pendiente del cauce, o de la superficie libre del agua, aguas abajo del caño comenzando en el punto de control escogido y finalizando en el siguiente cambio de pendiente significativo.

Adicionalmente, es posible que haya que determinar el coeficiente de rugosidad de Manning. Cuando sea posible, recomendamos su cálculo indirecto lo cual requiere que dispongamos de una medida de campo del caudal que acompañe a la pendiente de la superficie libre del agua y a la sección transversal ya medidas. Si el caudal no se mide, habrá que estimar el coeficiente de rugosidad de Manning basándose en el tipo y tamaño del material del lecho del río inmediatamente aguas abajo de la sección transversal levantada.

III. Comenzando a usar FishXing.

III.I Formato del Proyecto.

FishXing organiza los caños con los que trabaja en carpetas de proyecto. Cuando cargamos el programa se nos da la opción de abrir un *proyecto existente* o de crear un *nuevo proyecto*. Los proyectos nos permiten distribuir el trabajo con los caños en grupos de forma organizada, por ejemplo:

- Un proyecto puede contener todos los caños existentes dentro de una cuenca determinada.
- Un proyecto puede contener distintos diseños (alternativas) para un mismo caño.
- Un proyecto puede contener el análisis de un sólo diseño pero ante distintas especies objetivo o periodos de migración de las mismas.

Tras abrir un proyecto (ya sea nuevo o existente) aparece en pantalla la ventana de **Resumen del Proyecto** (*Project Summary*). Esta ventana muestra todos los caños que componen dicho proyecto y proporciona un breve resumen descriptivo de cada uno.

Campos relacionados: Resumen del Proyecto, Gestión de archivos.

III.II Resumen del Proyecto (*Project Summary*).

Todos los caños que componen el proyecto seleccionado pueden ser dispuestos en la ventana de Resumen del Proyecto. Esta ventana nos da un resumen de cada caño al representar en pantalla información sobre una serie de campos descriptivos. Existe la posibilidad de seleccionar los campos que queremos que se muestren en pantalla mediante el botón **determinado por el usuario** (*Customize*). Si no se indica nada, los campos predeterminados que aparecerán en la pantalla Resumen del Proyecto son los siguientes:

- Nombre del archivo (*File Name*) – El nombre del archivo que contiene los datos de entrada y las salidas del programa referentes a un caño determinado. Los ficheros de datos de caños tienen extensión *.xng.
- Número de identificación (ID No.) – Número de identificación del caño dado a cada uno de los caños de un proyecto por parte del usuario.
- Nombre (*Name*) – Nombre dado por el usuario para cada caño.

- Tipo (*Type*) – Forma y dimensiones del caño.
- Especie (*Species*) – Especie objetivo tenida en cuenta en el diseño del caño.
- Caudal mínimo de paso (*Low Passage Flow*) – Caudal mínimo de diseño para el paso de los peces. Define el punto mínimo de la ventana del caudal de paso de los peces.
- Caudal máximo de paso (*High Passage Flow*) – Caudal máximo de diseño para el paso de los peces. Define el punto máximo de la ventana del caudal de paso de los peces.
- Limitaciones de paso ante el caudal máximo de paso (*Passage Limitations at High Passage Flow*) – Identifica problemas potenciales al paso de los peces ante el caudal máximo de paso basándose tanto en la salida del perfil hidráulico como en la de flujo uniforme.

Abrir, crear y borrar caños. Los botones dispuestos a lo largo de la parte inferior de la ventana de Resumen del Proyecto permiten la gestión de los archivos. Se puede abrir un caño existente dentro de un proyecto, crear un nuevo caño, borrar alguno de los ya creados, o crear una copia de uno de los caños que contiene el proyecto. Para abrir o copiar un caño ya existente hay que seleccionar el caño deseado de la lista; una vez esté resaltado bastará con apretar el botón adecuado de entre los de la parte inferior de la ventana.

Campos relacionados: Comenzando con un nuevo caño.

III.III Gestión de archivos.

Cuando se instala FishXing, el software crea de forma automática una carpeta que llama ***Datos*** (*Data*); en ella se almacenarán las importaciones y exportaciones de secciones transversales, curvas de gasto, y otros tipos de salidas que permite el programa.

La carpeta ***Proyectos*** (*Project*), que se crea de la misma forma durante el proceso de instalación del programa, contiene todos los proyectos creados de forma separada por carpetas. En cada una de estas carpetas se guardan todos los archivos correspondientes a un único caño, con extensión *.xng como ya sabemos. Todos los proyectos de FishXing deben permanecer en la carpeta ***Proyectos*** que a su vez debe permanecer dentro de la carpeta ***FishXing***. De no ser así, FishXing no será capaz de localizar los proyectos.

IV. Entradas del Software.

IV.I Hoja de información del caño (*Culvert Information Sheet*).

La hoja de información del caño (*Culvert Information Sheet*) es la primera pantalla que aparece cuando se abre un caño ya existente o se crea uno nuevo. Esta hoja permite introducir la localización y una descripción general de cada caño. Esta información no se usa en los cálculos posteriores que realiza el programa, pero es útil para identificar inequívocamente un caño y señalar sus propiedades en base al hábitat disponible aguas arriba y a la existencia de otras barreras aguas arriba o aguas abajo. Por lo tanto, la información que recoge esta hoja no es necesaria, pero es recomendable que un único número de identificación sea asignado a cada caño dentro de un proyecto.

- Número de identificación del caño (*Culvert ID Number*) – El programa asigna por defecto un número de identificación a cada caño que creamos. Este número puede ser cambiado por el que nosotros queramos si bien lógicamente se recomienda que los números que usemos sean únicos para cada caño. Los números de identificación pueden ser útiles cuando se abren muchos análisis o diseños distintos para un mismo caño. Por ejemplo esto puede suceder si necesitamos repetir el análisis para diferentes especies objetivo.
- Nombre del caño (*Culvert Name*) – Nombre único que defina al caño.
- Camino y punto kilométrico (*Road and Milepost*) – Introduce el nombre del camino o carretera que cruza el río y el punto kilométrico para localizar el caño.
- Nombre del curso de agua (*Stream Name*) – Introduce el nombre del curso de agua sobre el que cruza el camino.
- Latitud y longitud (*Latitude and Longitude*) – Incluye aquí las coordenadas (latitud y longitud) del punto donde está localizado el caño cuando hayamos usado un GPS.
- Longitud del hábitat histórico aguas arriba (*Length of Historical Upstream Habitat*) - Identifica las especies objetivo presentes en el río. Introduce la longitud del curso de agua por encima del caño que tiene, o se piensa que tuvo en su día, las especies objetivo antes de que existiera en el río ninguna de las estructuras que ahora funcionan como una barrera a la migración de los peces: caños, azudes, presas de derivación...
- Información de las barreras aguas arriba/abajo del caño (*Upstream/Downstream Barrier Information*) – La información sobre las barreras ayuda en primer lugar a describir los beneficios derivados de solucionar los problemas de paso ligados al caño que estamos analizando. Si el caño se considera como una barrera a la migración, esta información puede usarse para

describir la cantidad de hábitat que se abrirá para los peces si el caño se modifica adecuadamente o se reemplaza.

- Existencia de barreras aguas arriba (*Upstream Barrier Exists*) – Marca el cuadro si aguas arriba del caño existe algún obstáculo al paso de los peces (entre el caño y el límite histórico de distribución aguas arriba de la especie objetivo).
- Número de barreras aguas arriba (*Number of upstream barriers*) – Si existen barreras aguas arriba, indica aquí el número total.
- Distancia a la próxima barrera (*Distance to next barrier*) – Introduce la longitud de río hasta la siguiente barrera aguas arriba del caño, incluye las unidades en que está dicha medida. Por ejemplo: 500 m
- Existencia de barreras aguas abajo, número de barreras aguas abajo, distancia a la siguiente barrera (*Downstream Barrier Exists, Number of downstream barriers, Distance to next barrier*) – Lo mismo que en los tres puntos anteriores pero ahora centrándonos en el tramo de río aguas abajo del caño en estudio.
- Comentarios (*Comments*) – Notas, comentarios y aspectos importantes referentes al caño que convenga recordar.

Campos relacionados: Hoja de entrada de datos del caño.

IV.II Hoja de entrada de datos (*Input Sheet*).

La hoja de entrada de datos se usa para especificar las características del cruce de la carretera sobre el curso de agua y de la especie de pez objetivo en nuestro diseño. Esta hoja se divide en dos partes:

- Consideraciones biológicas (características de los peces).
- Hidráulica del caño.

El botón de ***opciones de condiciones aguas abajo*** del caño (*Tailwater Option*) en la esquina inferior izquierda de la hoja abre la ***hoja de opciones de las condiciones aguas abajo del caño*** (*Tailwater Options Sheet*), que permite especificar la cota y condiciones de la superficie libre del agua a la salida del caño.

Perfil de caudales. Se pueden escoger hasta un máximo de tres caudales para generar los perfiles hidráulicos (perfiles de la superficie del agua) y de velocidades en el caño objeto de estudio. Los caudales mínimo y máximo de diseño de paso de los peces son introducidos de forma automática por el programa como dos de los tres caudales disponibles. FishXing además requiere que uno de esos dos caudales sea el caudal máximo de paso. FishXing generará los perfiles después de que presionemos el **botón de cálculo (Calculate)** que se encuentra en la hoja de entrada de datos. Cuando todos los campos hayan sido rellenados simplemente presiona el botón de cálculo para obtener los resultados.

a. Entradas relativas a los peces (Fish Inputs).

Información sobre los peces (Fish Information).

La información relativa a los peces es una parte fundamental de la hoja de entrada de datos asociada a cada caño. Los distintos campos de datos que deberán ser rellenados están relacionados con las capacidades de nado y el periodo de migración de la especie objetivo:

- Especie (*Species*) – Selecciona o introduce la especie objetivo.
- Clase de edad (*Age Class*) – Selecciona o introduce la clase de edad para la especie objetivo. Para selecciones múltiples, el programa introduce debajo los valores específicos por defecto para las distintas especies y clases de edad.
- Longitud del pez (*Fish Length*) – Introduce la longitud total (longitud caudal) del pez en milímetros. La habilidad de nado de las especies más comunes está ya predeterminada en el programa en función de la talla del pez.

Adicionalmente, para los caños que tengan salida colgada (cascada por diferencia de nivel entre la salida del caño y el agua en el río), que solicitan al pez al salto, la longitud del pez se usa para realizar la comprobación sobre la profundidad necesaria en el estanque de salida.

- Profundidad mínima del agua (*Minimum Water Depth*) – Selecciona o introduce la profundidad mínima del agua necesaria en el caño para hacer posible el paso de la especie objetivo y de la clase de edad seleccionada. Esta será la profundidad necesaria para que el pez pueda nadar cómodamente. El programa dispone de numerosos valores predeterminados para distintas especies. Las habilidades de nado para muchas especies de peces han sido analizadas en laboratorio y en estudios de campo. La siguiente tabla muestra los rangos observados en

dichos estudios para las habilidades de nado de diferentes especies norteamericanas. FishXing usa la media de los rangos dados en la tabla como velocidades predeterminadas (velocidades de nado constantes) cuando no está disponible para esa especie una ecuación de velocidad.

Especie y clase de edad	Capacidad de nado documentada¹	Fuente
<i>Notropis boops</i>	1.08 ft/s para 10 min (90% éxito) 1.18 ft/s para 4 min (95% éxito) 1.28 ft/s para 2 min (90% éxito)	Layher y Ralston, 1997
<i>Salmo trutta m fario</i>	Sostenida (2.3 ft/s - 7.5 ft/s) Punta (7.5 ft/s - 12.2 ft/s)	Bell, 1991
<i>Cyprinus carpio</i>	Sostenida (1.5 ft/s - 4.0 ft/s) Punta (4.0 ft/s - 14.0 ft/s)	Bell, 1991
<i>Campostoma anomalum</i>	Rango long. caudal: 1.46 in -3.94 in, Rango v. de nado: 1.21 ft/s* - 1.50 ft/s*	Layher y Ralston, 1997
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Sostenida (3.4 ft/s-10.8 ft/s) Punta (10.8 ft/s - 22.4 ft/s)	Bell, 1973
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	Sostenida (3.4ft/s - 10.6 ft/s) Punta (10.6 ft/s - 21.5 ft/s)	Bell, 1973
<i>Oncorhynchus clarki</i>	Sostenida (2.2 ft/s - 4.0 ft/s) Punta (4.0 ft/s - 13.5 ft/s)	Bell, 1991
<i>Carassius auratus</i>	Sostenida (0.7 ft/s - 3.5 ft/s) Punta (3.5 ft/s - 5.0 ft/s)	Bell, 1991
<i>Thymallus sp.</i>	Sostenida (2.5 ft/s - 5.0 ft/s) Punta (5.0 ft/s - 14.0 ft/s)	Bell, 1991
<i>Etheostoma blennioides</i> <i>Etheostoma whipplei</i> <i>Etheostoma radiosum</i>	media = 1.02 ft/s* s.d.=0.27 media = 0.92 ft/s* s.d.=0.37 media = 0.97 ft/s* s.d.=0.37	Layher and Ralston, 1997
Petromyzontidae	Punta (3.0 ft/s - 7.0 ft/s)	Bell, 1991
Petromyzontidae	Punta (6.23 ft/s)	Watts, 1974
<i>Campostoma oligolepis</i>	2.17 ft/s para 82 min	Layher y Ralston, 1997
<i>Lepomis megalotis</i> Longitud (50-136 mm)	0.62 ft/s para 14 min (100% éxito) 0.72 ft/s para 6 min (91% éxito) 1.08 ft/s para 2 min (88% éxito)	Layher y Ralston, 1997
<i>Oncorhynchus keta</i> y <i>O. gorbuscha</i>	Sostenida (2.6 ft/s - 7.7 ft/s) Punta (7.7 ft/s - 15.0 ft/s) Estiamadas a partir de altura de saltos en cascadas	Bell, 1973
<i>Notemigonus crysoleucas</i>	V de nado (ft/s)* = 0.563+1.608L(in) R-cuadrado = 0.707	Layher y Ralston, 1997
<i>Alosa sp.</i>	Sostenida (3.0 ft/s - 7.6 ft/s) Punta (7.6 ft/s - 14.5 ft/s)	Bell, 1991

¹ N.T.: La equivalencia del pie por segundo es 1 ft/s = 0,3084 m/s.

<i>Oncorhynchus nerka</i>	Sostenida (3.2 ft/s - 10.2 ft/s) Punta (10.2 ft/s - 20.6 ft/s)	Bell, 1973
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (anadromo)	Sostenida (4.6 ft/s - 13.7 ft/s) Punta (13.7 ft/s - 26.5 ft/s)	Bell, 1973
<i>Gasterosteidae</i>	Punta (3.0 ft/s - 3.5 ft/s)	Bell, 1991
<i>Catostomus</i> sp.	Sostenida (2.5 ft/s - 5.0 ft/s) Punta (5.0 ft/s - 10.0 ft/s)	Bell, 1991
<i>Salmonidae</i> (Whitefish)	Sostenida (1.5 ft/s - 4.5 ft/s) Punta (4.5 ft/s - 9.0 ft/s)	Bell, 1991
<i>Hybognathus nobilis</i> (juveniles)	media = 0.81 ft/s* s.d.=0.13	Layher y Ralston, 1997
Juveniles de salmónidos: Coho, Chinook, Steelhead, Chum, Pink	V de nado (ft/s) = 0.638L(in)-0.0172	Barber y Downs, 1996

* Referida como velocidad de punto crítico, a partir de la cual el desarrollo de la actividad natatoria deriva rápidamente en la extenuación del pez.

Periodo de migración (*Migration Period*).

Escoge los meses de inicio y de finalización para la migración aguas arriba de la especie objetivo y la clase de edad seleccionada. ***El periodo de migración es un dato opcional que no se usa en los cálculos.***

Velocidades de nado predeterminadas/definidas (*Default/Custom Swim Speeds*).

FishXing contiene velocidades de nado para muchas de las especies norteamericanas. Si deseas usar estas velocidades las puedes seleccionar en la etiqueta de velocidades de nado predeterminadas (*Default Swimming Speeds*). FishXing usa una combinación de velocidades de nado constantes y variables (ecuaciones de regresión) como valores predeterminados.

Las ecuaciones de regresión para las velocidades de nado de los peces fueron desarrolladas por Hunter y Mayor (1986) basándose en una colección de datos recogida en trabajos previos de laboratorio. Cada ecuación de regresión se aplica a una especie de forma única y usa la longitud caudal y el tiempo de nado como variables. La forma general de la ecuación es la siguiente:

$$V = a L^b t^c$$

donde V es la velocidad de nado del pez, L la longitud, t el tiempo hasta la extenuación, y a, b, c son las constantes de la regresión.

Cada ecuación de velocidad se aplica a un modo específico de natación, punta o sostenida, y tiene un rango de longitudes del pez dentro del cual es válida. A menudo ese rango de longitud puede ser clasificado como perteneciente bien a la clase juvenil o bien a la adulta dentro de cada especie, aunque en algunos casos engloba ambas clases.

FishXing escoge la ecuación de velocidad de nado basándose en la especie seleccionada, la clase de edad, y la longitud del pez. Cuando el programa aplica las regresiones, la referencia (Hunter y Mayor, 1986), aparece bajo las velocidades. Si FishXing no encuentra disponible ninguna ecuación que encaje con los aspectos mencionados, el programa seleccionará una velocidad constante si ésta está disponible. De no ser así, aparecerá un mensaje notificando la no disponibilidad (*Not Available*) de ningún registro de velocidad de nado para la especie, talla y/o longitud seleccionadas.

Nota: Que FishXing no encuentre una ecuación para aplicar no quiere decir necesariamente que no haya ninguna ecuación disponible; la longitud del pez puede quedar fuera del rango de aplicación de dicha ecuación. Intenta bien cambiando la clase de edad o ajustando la longitud.

Habilidad de nado (*Swimming Ability*).

Velocidad sostenida y punta (*Prolonged and Burst*) – Las velocidades de nado de los peces se clasifican normalmente como velocidad de crucero, sostenida y punta (*sustained, prolonged, y burst* respectivamente). La velocidad de crucero puede ser mantenida por el pez de forma indefinida y no se usa para el diseño o el análisis de los caños. La velocidad sostenida puede durar entre 15 segundos y 200 minutos, según especies y situaciones, antes de resultar en la fatiga del pez. Por último, la velocidad punta puede extenuar al pez antes de 15 segundos y cuando esto sucede, no puede volver a usarse hasta que no ha pasado un tiempo de descanso moderadamente largo.

Escoge el tipo de velocidad que quieras usar en el análisis del caño. Selecciona **usar ambas** (*Use Both*) si deseas que el pez objetivo pueda ser capaz de cambiar entre la velocidad punta y la sostenida, según sea necesario. Esto puede resultar particularmente útil cuando las velocidades del agua en el interior del caño son lo suficientemente bajas para ser nadadas con la velocidad sostenida

pero la entrada y la salida del caño presenta velocidades mayores para las que el pez ya tiene que hacer uso de la velocidad punta.

Nota: La mayoría de los tratados de paso de peces recomiendan usar las velocidades sostenidas.

- Velocidad de nado (*Swim Speed*) – Introduce las velocidades sostenida y punta para la especie de pez y clase de edad seleccionada.
- Tiempo de extenuación (Time to Exhaustion) – Selecciona el tiempo de extenuación para la especie objetivo y la velocidad de nado. Para todos los peces el tiempo de extenuación por defecto es de 5 segundos para la velocidad punta y de 30 minutos para la velocidad sostenida.
- Velocidad de salto máxima (Max Leap Speed) – Selecciona la velocidad inicial a la cual el pez puede saltar fuera del estanque de salida para entrar en el caño (caños con salida colgada). La velocidad es sólo aplicable si el pez tiene que saltar para entrar en el caño. Los valores que usa por defecto el programa son iguales a la velocidad punta de nado para la especie seleccionada.
- No hace falta salto de entrada (No Outlet Leap Required) – Marca esta casilla si la situación de la salida del caño con respecto al río no requiere que el pez tenga que saltar para tener acceso a su interior. La selección de esta casilla evita el proceso de cálculo en lo que se refiere al salto. Esto es apropiado para salidas de caños que están sólo ligeramente colgadas, a menudo incitando al pez a nadar, en vez de a saltar, hacia el interior del caño. No obstante, *ante la duda* de si el pez tendrá o no que saltar conviene *dejar la casilla sin marcar*.

Reducciones de velocidad (*Velocity Reductions*).

Las observaciones del paso de los peces en los caños de drenaje han revelado que muchos peces utilizan zonas donde el agua presenta bajas velocidades cuando se enfrentan a situaciones adversas. Esto ha motivado el uso de velocidades inferiores a la velocidad media del agua cuando se diseñan las condiciones de paso para peces en los caños. Los factores de reducción se multiplican por la velocidad media del agua para determinar la velocidad del agua a la que se enfrenta el pez.

- Entrada (Inlet) – La zona entre la entrada del caño y 0,7-1 metro (2-3 pies) dentro del caño.
- Cuerpo del caño (Barrel) – La región del caño comprendida entre la zona de entrada y la de salida.

- Salida (Outlet) – La zona de salida sólo existe si el caño tiene pendiente moderada y su salida está colgada. Esta zona comienza cuando la superficie del agua pasa por el punto de caído crítico. De no ser así, el tramo del cuerpo del caño se extiende hasta la salida del mismo.

Se debe tener precaución cuando se haga uso de los factores de reducción por el hecho de que el cambio de las condiciones puede influenciar la distribución de velocidades en la zona del caño ocupada por los peces.

Criterio hidrológico (*Hydrologic Criteria*).

El caudal máximo de diseño de paso para los peces y el mínimo (*Hig/Low Passage Flow*, respectivamente), definen el rango de descargas que será analizado para comprobar el paso de los peces en el caño. Existen pocas situaciones en las que el paso de los peces puede ser mantenido durante caudales de avenidas grandes. Además, no es necesario proporcionar un paso adecuado a los peces en momentos en los que los mismos peces no tratan de remontar el río. Muchas agencias estatales y federales tienen desarrollados criterios para establecer estos caudales, normalmente conocidos como caudales de paso para peces (véase tabla página 5).

Capacidades de los peces (*Fish Capabilities*).

Las habilidades de nado para muchas especies han sido estudiadas en laboratorio y observadas en trabajos de campo. Como ya se indicó FishXing hace uso de velocidades constantes cuando no tiene ninguna ecuación de velocidad válida para la especie, clase de edad y talla seleccionadas. Para una lista de los rangos de velocidades de nado usados por el programa véase la tabla de la página 14.

b. Datos del caño (*Culvert Inputs*).

Hidráulica del caño (*Culvert Hydraulics*)

La parte de la hoja de entrada de datos del caño dedicada a la hidráulica de la estructura (parte derecha de la hoja) permite al usuario especificar el tipo, tamaño y localización del caño.

- Forma del caño (*Culvert Shape*) – Selecciona un tipo de caño de la lista desplegable. Si se selecciona un caño en arco (*Pipe-Arch*), se abrirá una ventana en la que aparece una lista de tamaños predefinidos de entre los que podremos escoger.
- Material de construcción del caño (*Culvert Construction*) – Escoge un material de construcción para el caño.
- Instalación (*Installation*) – Este campo tiene dos posibles opciones: a nivel del lecho del río o hundido.
 - A nivel (*At Grade*) – Es la instalación más normal, con el punto más bajo de la sección de entrada/salida del caño enrasada con el lecho del cauce natural adyacente.
 - Hundido (*Sunken*) – En este caso el punto más bajo de la sección del caño se encuentra por debajo del nivel del lecho del río con vistas a retener material formador del lecho en el interior del caño y conseguir así un cauce natural rugoso en él. La instalación hundida puede ser utilizada también si la solera del caño ha sido revestida con hormigón u otro material. Tras seleccionar hundido (*Sunken*) hay que introducir la cota efectiva a la que se encuentra el punto más bajo de la sección del caño con respecto al lecho original del río (si está nivelado con hormigón, introduce la profundidad de la solera).
- Diámetro del caño (*Culvert Diameter*) – Este campo se muestra activo únicamente cuando se selecciona un caño de sección circular. Escoge de entre los diámetros ofrecidos en la lista desplegable o introduce un diámetro concreto. Todos los diámetros están dados en pulgadas, y los caños circulares se fabrican normalmente con incrementos de 6 pulgadas en el diámetro.
- Luz y elevación del caño (*Culvert Span/Rise*) – Estos dos campos se usan para apuntar la altura y la anchura de los caños de sección en arco cerrado en la base (*pipe-arches*) y de los caños de sección en arco con la base abierta (*open-bottom arches*). Estos campos se abrirán sólo si se ha seleccionado en la casilla de forma del caño arco abierto en la base (*open-bottom arch*). Las formas de arco cerrado se seleccionan de tallas predefinidas en una ventana separada, abierta al seleccionar la forma de arco cerrado (*pipe-arch*) en el campo de forma del caño ya comentado.
 - Luz (*Span*) – La luz de la sección en caños en arco abierto en la base, medido bien sobre el lecho del río o bien desde las zapatas del arco.
 - Elevación (*Rise*) – La altura hasta el punto máximo de la sección en caños en arco abierto en la base, medida bien desde el lecho del río o bien desde las zapatas del arco.

Nota: Si el ancho y la altura se miden desde las zapatas del arco, se debe seleccionar hundido en el campo de instalación y definir la diferencia de cota de la parte superior de las zapatas con respecto al lecho del río.

- Altura y ancho del caño (*Culvert Height/Width*) – Estos campos se activan al seleccionar la forma de caño caja (*Box Culvert*): sección cuadrada o rectangular. La altura se mide en vertical desde dentro del caño; el ancho se mide horizontalmente también desde el interior.
- Coeficiente de rugosidad del caño (*Culvert Roughness Coefficient*) – Introduce o selecciona un coeficiente de rugosidad de Manning para el caño escogido. Los valores predefinidos aparecen automáticamente cuando se selecciona el material de construcción del caño.
- Coeficiente de rugosidad del suelo del caño (*Bottom Roughness Coefficient*) – Este campo sólo se activa para los caños hundidos o para los caños de sección en arco abierto en la base. Introduce o selecciona un coeficiente de rugosidad de Manning para el material que compone el suelo del caño. Éste será probablemente material de lecho similar al existente en el lecho del río aguas arriba del caño, pero puede ser también hormigón u otro material.
- Longitud del caño (*Culvert Length*) – Introduce la longitud total del caño medida desde la sección de entrada a la sección de salida del mismo.
- Cota y pendiente del caño (*Culvert Elevation/Slope*) – FishXing permite escoger entre introducir la cota del punto más bajo de la sección de entrada del caño o introducir su pendiente. El otro se calcula automáticamente una vez se ha fijado la longitud del caño y la cota del punto más bajo de la sección de salida. Para seleccionar el campo que se desee rellenar basta con marcar el botón de selección (círculo vacío) que se encuentra junto a cada campo. El campo que no haya sido seleccionado quedará aclarado en gris y reflejará el valor autocalculado.
 - Cota de la sección de entrada (*Elevation of Inlet Bottom*) – Introduce el valor de la cota del punto más bajo de la sección de entrada del caño si es ésta la opción seleccionada. Si el caño está hundido o es de tipo de arco abierto en la base, el punto más bajo de la sección de entrada se define como el propio del lecho formado en la entrada.
 - Pendiente del caño (*Culvert Slope*) – De seleccionar esta opción, introduce la pendiente en porcentaje del caño. Si éste está hundido o es de tipo de arco abierto en la base, se introducirá la pendiente del material que forma el suelo del caño.

Nota: FishXing NO puede modelizar las condiciones hidráulicas de caños que presenten una pendiente del lecho o solera sustancialmente distinta a la pendiente de

instalación del caño. Por ejemplo, esta situación se daría cuando la profundidad a la que está hundida la entrada del caño es mucho menor que la de la salida.

- Cota del punto más bajo de la sección de salida (*Elevation of Outlet Invert*) – Introduce la cota correspondiente al punto más bajo de la sección de salida del caño. Si éste está hundido o es de tipo de arco abierto en la base, se introducirá la pendiente del material que forma el suelo del caño en su salida.

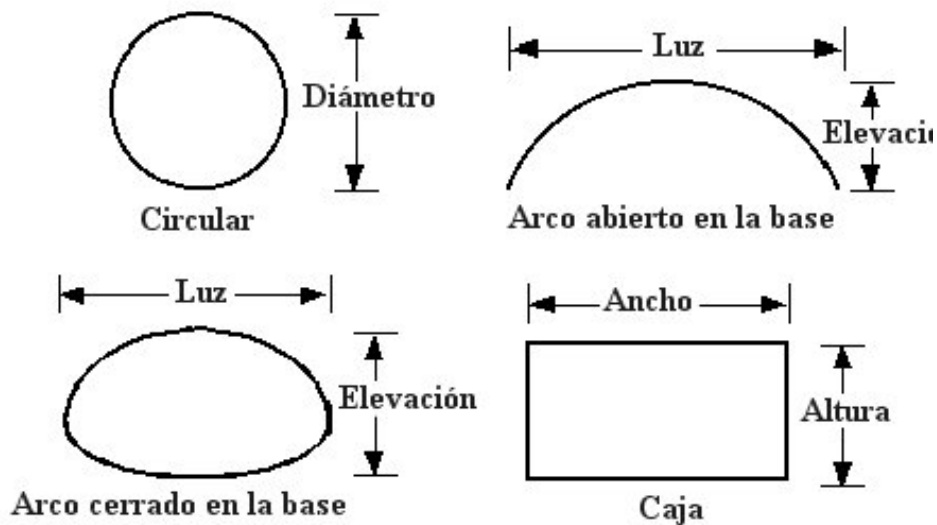
Nota: Todas las cotas deben estar ligadas a un datum u origen común.

- Coeficiente de pérdidas de carga de la entrada del caño (*Inlet Head Loss Coefficient*) – El coeficiente de pérdidas de carga a la entrada del caño es el parámetro que describe la cantidad de energía perdida al entrar el agua en el caño. Selecciona o introduce el coeficiente apropiado para el tipo de entrada del caño. Los mayores coeficientes están asociados a las mayores pérdidas de carga.

Campos relacionados: Consideraciones biológicas, hoja de entrada de datos del caño, hoja de condiciones aguas abajo.

Tipos de caños (*Culvert Types*).

FishXing permite escoger de entre las cuatro formas de caño predefinidas que se muestran a continuación:



Materiales de construcción (*Construction Materials*).

Las siguientes son las descripciones de los diferentes materiales de entre los que el programa permite escoger:

Material de construcción	Descripción
CMP* (corrugado de 2 2/3- X 1/2-pulgadas).	Acero o aluminio galvanizado con corrugado de 1/2 pulgada de profundidad, espaciado 2 2/3 pulgadas.
CMP (corrugado de 3- X 1-pulgadas).	Acero o aluminio galvanizado con corrugado de 1 pulgada de profundidad, espaciado 3 pulgadas.
CMP (corrugado de 5- X 1- pulgadas).	Acero o aluminio galvanizado con corrugado de 1 pulgada de profundidad, espaciado 5 pulgadas.
Tobo de chapas estructurales (corrugado de 6- X 2-pulgadas).	Chapas de acero galvanizado unidas mediante tornillería, con corrugado de 2 pulgadas de profundidad, espaciado 6 pulgadas.
CMP espiral.	Acero o aluminio galvanizado con corrugado helicoidal, normalmente de 1/2 pulgadas de profundidad, espaciado 2 2/3 pulgadas.
Hormigón.	Asociado en general con los caños tipo caja (cuadrados o rectangulares).
PVC	Plástico con varios tipos de corrugado.

* CPM = Corrugated Metal Pipe.

Coefficientes de rugosidad (*Roughness Coefficients*).

Representan la resistencia al paso del agua en un cauce, en este caso en el caño. FishXing utiliza el coeficiente de rugosidad de Manning. Los valores de este coeficiente para distintos materiales de construcción están ampliamente difundidos en la bibliografía y vienen como valores predefinidos en el programa. Los coeficientes de rugosidad para cauces naturales o para caños que tienen substrato natural (lecho), difieren sustancialmente por lo que requieren ser calculados por distintos procedimientos o estimados a partir de la experiencia del diseñador.

Campos relacionados: Ecuación de Manning, Rugosidad ponderada.

Coefficientes de pérdida de carga de la entrada (*Inlet Head Loss Coefficients*).

$$H_L = K_e (V^2/2g)$$

El coeficiente de pérdidas de carga de la entrada del caño, K_e , es una constante en el término de pérdidas de carga de la ecuación de la energía de los canales abiertos. El coeficiente de pérdidas de carga es una medida de la eficiencia de la entrada del caño para realizar una transición suave del caudal desde el cauce natural aguas arriba hasta el interior del caño.

El coeficiente puede variar entre 0 y 1. Los coeficientes mayores están asociados a mayores contracciones del flujo en la entrada del caño. Los caños de ancho inferior al del cauce natural aguas arriba crearán la constricción del agua en la zona de entrada lo cual puede crear un resalto hidráulico en la misma, lo que a menudo supone una barrera de velocidad para los peces. El coeficiente de pérdidas de carga de la entrada del caño es función del caudal. La mayoría de los coeficientes dados por las casas comerciales son para profundidades relativas (profundidad a la entrada del caño/altura interior del caño) de alrededor de 1,2, bien por encima de los caudales de paso de los peces.

Se debe intentar minimizar las pérdidas de carga a la entrada del caño para mejorar el paso de los peces. Dimensionar el caño lo suficientemente ancho como para evitar la constricción del agua a su entrada resultará en un coeficiente de pérdidas de carga de 0 para el paso de los peces. Otros modos de reducir las pérdidas de carga es construir alas laterales en la entrada para favorecer la transición suave del agua del río al interior del caño.

Bates (1992) sugiere que el coeficiente a la entrada del caño no debiera exceder de 0,7 para el paso de salmones adultos, 0,5 para lugares con condiciones de paso marginales, y de 0,2 para el paso de los juveniles del salmón.

IV. III Opciones aguas abajo del caño (*Tailwater Options*).

a. Hoja de opciones a la salida del caño (*Tailwater Options Sheet*).

La hoja de condiciones a la salida del caño se abre al apretar el botón de ***opciones a la salida del caño*** (*Tailwater Option*) en la hoja de datos de entrada del caño. Esta hoja especifica las cotas del agua a la salida del caño. A medida que el caudal que pasa por el caño aumenta, la cota del agua a la salida del mismo también podrá hacerlo. FishXing ofrece tres métodos diferentes para definir las cotas y las condiciones aguas abajo del caño:

- El método de la superficie del agua constante (*Constant Tailwater Method*).
- El método de la curva de gasto definida por el usuario (*User Defined Rating Curve Method*).
- El método de la sección transversal (*Channel Cross-Section Method*).

Para seleccionar el método deseado simplemente hay que escogerlo de la lista desplegable bajo el título de métodos de condiciones aguas abajo (*Tailwater Methods*) o marcar la casilla adecuada en la hoja de condiciones a la salida del caño. El texto de la casilla activada será resaltado, quedando los otros métodos en gris.

Si se selecciona el método de la curva de gasto definida por el usuario o el método de la sección transversal, presiona el botón de ***entrada de datos*** (*Enter Data*) en la hoja de condiciones a la salida del caño.

Para cambiar el método de cálculo de la cota del nivel del agua a la salida del caño basta con activar el método deseado de la lista desplegable de métodos de condiciones aguas abajo (*Tailwater methods*) o simplemente marcando la casilla en gris del método deseado en la hoja de condiciones a la salida del caño.

Método de la superficie del agua constante (*Constant Water Surface Method*).

Este método es útil cuando la cota del agua a la salida del caño no varía con los cambios de caudal. Este método requiere la mínima cantidad de información del lugar donde está emplazado el caño y puede ser apropiado para los estudios preliminares de los caños.

- Cota del agua en el estanque de salida (*Pool Surface Elevation*) – Introduce la cota correspondiente a la superficie libre del agua en el estanque de salida del caño.

- Cota del lecho del estanque de salida (*Outlet Pool Bottom Elevation*) – Introduce la cota del punto inferior del lecho del estanque de salida. Esta cota será usada por el programa para el cálculo de la profundidad del estanque a la salida del caño.

Nota: Todas las cotas deben estar ligadas a las propias de la salida y de la entrada del caño en base al uso de un datum u origen común.

Método de la curva de gasto definida por el usuario (*User Defined Rating Curve Method*).

El método de la curva de gasto permite al usuario especificar las cotas de la superficie del agua en el cauce a la salida del caño asociadas a distintos caudales de paso, formando así una curva de gasto (cota-caudal).

- Cota del lecho del estanque de salida (*Outlet Pool Bottom Elevation*) – Introduce la cota del punto inferior del lecho del estanque de salida. Esta cota será usada por el programa para el cálculo de la profundidad del estanque a la salida del caño.
- Cota (*Elevation*) – La cota del agua a la salida del caño para el caudal considerado.
- Caudal (*Discharge*) – El caudal de paso correspondiente a la cota del agua aguas abajo del caño.

Para introducir las cotas y los caudales de paso asociados a las mismas hay que escribir la cota de la superficie del agua a la salida del caño en el campo **cota** (*Elevation*). Se introduce a continuación la descarga correspondiente a dicha cota en el campo **caudal** (*Discharge*). Presionamos entonces la tecla **introducir** (*Enter*) para situar el punto en la tabla de la derecha. Para borrar uno de los puntos introducidos en la tabla hay que marcar la fila que queremos borrar con el puntero del ratón y luego presionar el botón de **eliminar fila** (*Remove Rows*). Cuando hayamos introducido todos los puntos deseados hay que pulsar el botón **hecho** (*Done*).

Nota: La primera cota de la tabla debe corresponder a la existente al paso de un caudal igual a cero. También hay que tener presente que la cota del agua a la salida del caño no podrá ser inferior a la cota del lecho del estanque de salida.

FishXing permite **importar** y **exportar** las tablas de gasto (cota de la superficie del agua a la salida del caño – caudal de paso).

Los ficheros exportados contienen dos columnas de números. La primera columna contiene las cotas y la segunda los caudales correspondientes a esas cotas. El fichero se exporta como fichero ASCII delimitado por comas de forma que puede ser leído por cualquier procesador de textos, importado como un documento nuevo, o importado de nuevo por FishXing.

Para exportar una tabla basta con presionar el botón **exportar** (*Export*), escoge el lugar de destino del fichero y el nombre del mismo. La extensión por defecto para los ficheros es *.xcs, y el directorio predeterminado donde serán guardados si no se especifica otro es la carpeta **Data** creada al instalar el programa. El fichero se guardará en formato ASCII.

El proceso para importar es similar. FishXing permite importar ficheros de texto que contengan dos columnas que pueden estar delimitadas por comas, espacios o tabulaciones. La primera columna debe estar dedicada a los datos de cotas de la superficie del agua a la salida del caño, y la segunda columna a los caudales vinculados a dichas cotas. No se deben introducir más líneas de texto o numéricas.

Para importar se presiona el botón **importar** (*Import*), se escoge el fichero ASCII que se quiere abrir (la extensión por defecto para los ficheros de tablas de gasto es *.xcs y la ruta la de la carpeta **Data**).

Método de la sección transversal (*Channel Cross-Section Method*).

Este método permite al usuario especificar la forma y la rugosidad del cauce del río aguas abajo de la salida del caño. FishXing estima las cotas del agua a la salida del caño para diferentes caudales de paso por medio de la ecuación de Manning, creando una curva de gasto cota-caudal. Este método requiere tener levantada una sección del cauce aguas abajo del caño, conocer la pendiente del cauce, así como tener estimada su coeficiente de rugosidad.

- Pendiente del cauce (*Channel bottom slope*) – Introduce la pendiente en porcentaje del fondo del cauce aguas abajo del caño. La pendiente debe ser tomada inmediatamente aguas abajo de la sección transversal que se haya medido.

- Cota del lecho del estanque de salida (*Outlet Pool Bottom Elevation*) – Introduce la cota del punto inferior del lecho del estanque de salida. Esta cota será usada por el programa para el cálculo de la profundidad del estanque a la salida del caño.

Nota: Todas las cotas deben estar ligadas a las propias de la salida y de la entrada del caño en base al uso de un datum u origen común.

- Coeficiente de rugosidad de Manning, n (*Manning's Roughness Coefficient*) – Selecciona o introduce el valor del coeficiente de rugosidad de Manning. El coeficiente puede estimarse a partir del material del lecho del río o ser calculado de forma indirecta. Los valores del coeficiente que el programa presenta de forma predeterminada en la lista desplegable provienen de la publicación del USGS, *Roughness Characteristics of Natural Channels* (Barnes, 1967).
- Elevación máxima (*Max Elevation*) – Una vez que la curva de gasto ha sido calculada, la cota máxima del agua a la salida del caño se muestra en este campo (la cota máxima contando tanto con el margen izquierdo del cauce como con el derecho).
- Incremento (*Step size*) - Una vez que la curva de gasto ha sido calculada, el incremento de cota predefinido usado para el cálculo de la curva se muestra en este campo. El incremento es la diferencia entre cada cota del agua calculada en la curva de gasto. Se puede ajustar el incremento y volver a pedir al programa que calcule la curva.

Nota: Un incremento pequeño crea más puntos a los que ajustar la curva de gasto lo que supone un menor error del ajuste, pero incrementa el tamaño del archivo.

Levantamiento de la sección transversal (*Cross-Section Survey*).

La sección transversal debe ser levantada en el punto de control del cauce aguas abajo de la salida del caño. El punto de control es una sección del cauce que influencia la cota de la superficie libre del agua aguas arriba de la misma. Estos puntos de control a menudo se encuentran en los puntos de cambio de pendiente del cauce, o en lugares en los que el cauce se estrecha. Si existe un estanque de salida, el punto de control debe quedar cerca del final de dicho estanque, inmediatamente aguas abajo del mismo.

Para introducir los puntos correspondientes al levantamiento de la sección transversal hay que seguir los siguientes pasos:

- Introduce el punto de estacionamiento (distancia horizontal a lo largo del cauce) en el campo **estación** (*Station*). Presiona entonces el tabulador para moverte al siguiente campo.
- Introduce la cota correspondiente en el campo **cota** (*Elevation*). Presiona la tecla Enter o el botón **introducir** (*Enter*) que se muestra en pantalla, para pasar el punto a la tabla de la derecha. A medida que se van introduciendo los puntos, la sección transversal se va dibujando en el gráfico situado bajo la tabla. Todos los registros se disponen de forma automática en la tabla por orden de estacionamiento, y se permite el uso de cotas negativas.

Nota: Las cotas de la sección transversal deben estar ligadas a las cotas de la entrada y salida del caño a través del uso de un datum u origen común. Los puntos de la sección deben de introducirse desde la margen izquierda a la derecha según miramos la sección hacia aguas arriba.

- Para borrar cualquier registro de la tabla basta con resaltar la fila correspondiente que queremos borrar y presionar el botón de **eliminar filas** (*Remove Rows*).
- Una vez estén introducidos todos los puntos de la sección transversal, presiona el botón de **cálculo** (*Compute*). El programa calculará la curva cota-caudal referida a la salida del caño y la sacará en pantalla.

De la misma forma que antes con las tablas de gasto, FishXing permite **importar** y **exportar** secciones transversales. La forma de proceder es igual a la explicada para las tablas de gasto (página 24). Para importar, los ficheros de secciones transversales deben componerse de dos columnas separadas por comas, espacios o tabulaciones en las que la primera recoge los puntos de la sección levantados (coordenada x) y la segunda sus cotas (coordenada y). No se deben usar más líneas de texto o numéricas. De la misma forma, los ficheros ASCII delimitados por comas que usa FishXing para exportar secciones contienen dos columnas con el mismo patrón (x-y).

Curvas de gasto (*Rating Curves*).

- Curvas de gasto aguas abajo del caño (*Tailwater Rating Curves*).

Las curvas de gasto correspondientes al tramo del río aguas abajo del caño se usan para definir el nivel del agua a la salida del caño ante distintos caudales de paso. La curva de gasto se construye a partir de la tabla de gasto que contiene los caudales y las cotas del agua asociadas a los mismos como ya hemos visto. La tabla de gasto se usa para definir el nivel del agua cuando se ha optado

bien por el método de la curva de gasto definida por el usuario o bien por el método de la sección transversal.

FishXing utiliza la tabla de gasto para determinar la profundidad del agua a la salida del caño ante distintos caudales tanto para los cálculos de flujo uniforme como para los del perfil hidráulico haciendo uso de interpolación lineal y extrapolación.

Cuando la curva de gasto se crea para el **método de la sección transversal**, después de presionar el botón de cálculo (*Compute*) de la hoja de entrada de datos de la sección transversal, aparece la tabla de gasto que muestra los caudales y las cotas del agua correspondientes en las dos primeras columnas. Las otras dos columnas restantes corresponden al perímetro mojado y a la sección mojada para la sección que hemos utilizado en el método.

- Perímetro (*Perimeter*) – El perímetro mojado de la sección del cauce para una profundidad del agua dada. Corresponde a la longitud de la porción sumergida de la sección transversal.
 - Área (*Area*) – El área mojada de la sección transversal del cauce para la profundidad o caudal considerado.
-
- Rango de la curva de gasto (*Rating Curve Range*).

El caudal de paso se calcula para cotas del agua a la salida del caño que van desde el punto más bajo del cauce hasta la cota más alta que contiene tanto al margen derecho como al izquierdo del cauce, de acuerdo con lo dispuesto en la sección transversal introducida en el programa. El incremento entre las cotas del agua a la salida del caño en la tabla de gasto es determinado por el **intervalo** (*step size*). Se puede volver a la hoja de entrada de datos de la sección transversal para ajustar el intervalo o hacer algún cambio en la sección transversal sin más que presionar el botón **volver** (*Back*).

V. Resultados.

V.I Hoja ¿y ahora qué? (*What Now? Sheet*).

Esta hoja aparece una vez que el programa ha finalizado los cálculos. Ofrece las siguientes opciones:

- WSP – Saca en pantalla los perfiles hidráulicos y de velocidades del caño.
- Uniforme (*Uniform*) – Saca en pantalla los resultados de los cálculos bajo condiciones de flujo uniforme.

- Guardar (Save) – Guarda la información sobre el caño obtenida tras los cálculos. Se puede guardar el archivo del caño en la carpeta **proyecto** (*Project*). Guardar ahora el trabajo, después de haber realizado los cálculos, es siempre una buena idea.
- Resumen del proyecto (*Project Summary*) – Nos devuelve la ventana de resumen de proyecto para que abramos otro caño o creamos uno nuevo.
- Informe (*Report*) – Genera un informe detallado del caño actualmente abierto.
- Salir (*Exit*) – Cierra la sesión con FishXing.
- Volver (*Back*) – Vuelve a la página de entrada de datos del caño.

a. Generar un informe (*Generating a Report*).

FishXing puede generar un informe sobre el caño con el que hemos estado trabajando. Tras apretar el botón **calcular** (*Calculate*), aparece la hoja ¿y ahora qué?. Si presionamos el botón de **informe** (*Report*) aparecerá una nueva ventana con una lista en su parte izquierda que contiene todas las distintas secciones que puede interesar incluir en el informe final. Resalta con el puntero del ratón la primera sección que quieres que aparezca en el informe y aprieta entonces el botón **añadir al informe** (*Add to Report*). El nombre de la sección aparecerá en la columna de la derecha. Continúa añadiendo las secciones que necesites para tu informe. Haz uso del botón **eliminar del informe** (*Remove from Report*) para quitar secciones no deseadas de la columna de la derecha.

Se puede cambiar el orden en el que aparecen las secciones usando los botones direccionales **arriba/abajo** (*Up/Down*) a la derecha de la segunda columna.

Puedes ver e imprimir el informe desde la pantalla de vista preliminar. De momento no hay forma de guardar el informe o copiar y pegar partes de él. Si se quiere copiar gráficos en otros documentos, se pueden exportar como archivos de imagen (bitmap, *.bmp) cuando se muestran en pantalla.

b. Perfiles hidráulicos (*Water Surface Profiles, WSP*).

Los perfiles hidráulicos que representan la superficie del agua en el caño (WSP) se generan para tres caudales de paso definidos por el usuario para permitir un análisis más completo de la hidráulica del caño. A diferencia de los resultados de flujo uniforme, estos perfiles no asumen la condición de flujo uniforme. A cambio, se generan usando ecuaciones de flujo gradualmente variable basadas

en estados estables de flujo no uniforme. Los perfiles hidráulicos permiten identificar los resaltos hidráulicos.

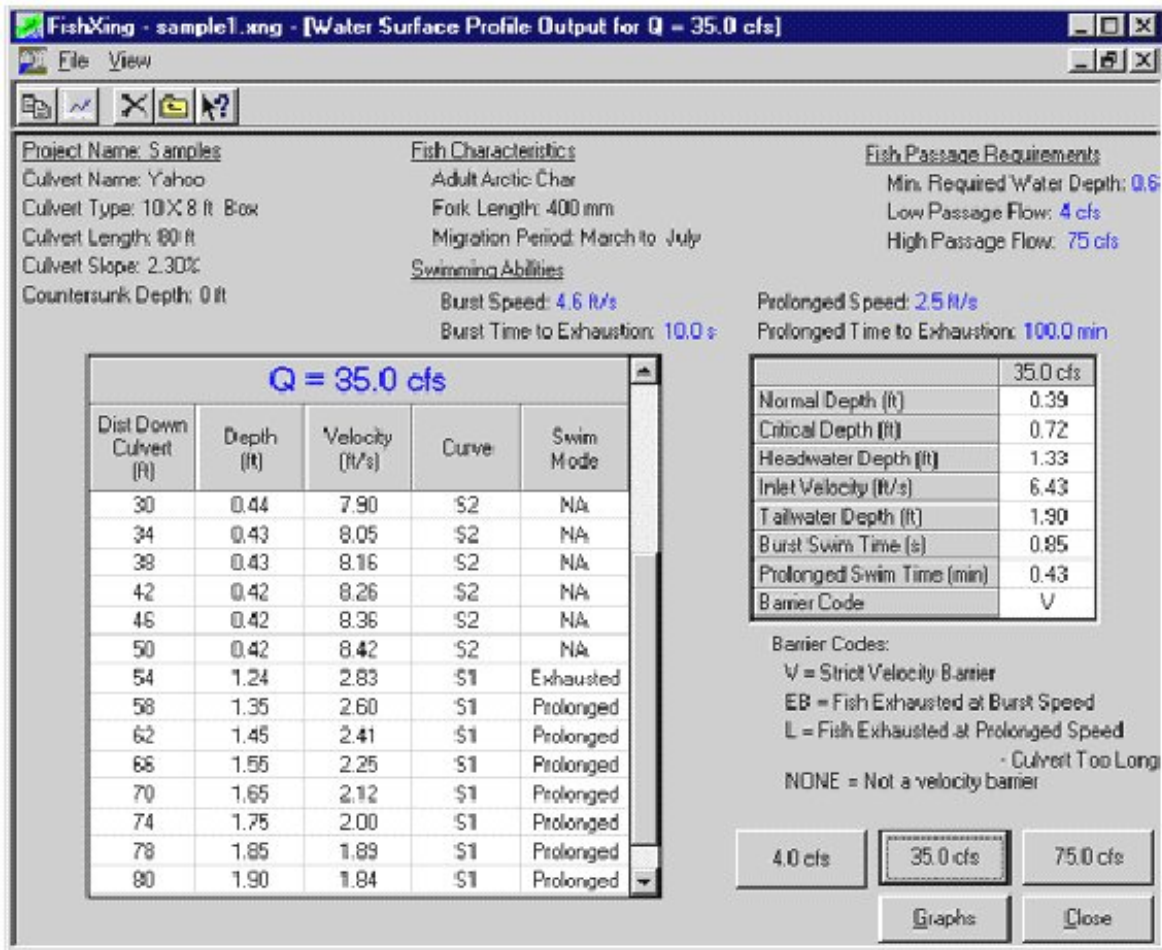


Tabla de resultados del WSP:

La tabla contiene la profundidad del agua y la velocidad en el interior del caño par el caudal mostrado en la parte superior. Las otras columnas corresponden al tipo de curva que forma el perfil y el modo de natación que el pez objetivo tendrá que utilizar.

- Distancia hacia abajo del caño (*Dist Down Culvert*) – La primera columna recoge la distancia recorrida desde la entrada del caño hacia su salida.
- Profundidad (*Depth*) – La profundidad del agua correspondiente a un punto dado del caño.
- Velocidad (*Velocity*) – La velocidad media de la sección transversal en el punto de estudio del caño. esta no es la velocidad reducida (no tiene aplicada el factor de reducción). Si se ha

seleccionado un factor de reducción inferior a 1, la velocidad media recogida aquí será multiplicada por dicho factor para obtener la velocidad del agua que debe tener que superar el pez.

- Curva (*Curve*) – El tipo de curva definida por la superficie del agua.
- Modalidad de nado (*Swim Mode*) – Esta columna recoge el tipo de natación que deberá usar el pez objetivo para remontar el caño ante las condiciones consideradas. Punta (*Burst*) se refiere a la necesidad de uso de la velocidad punta y sostenida (*Prolongued*) se refiere al uso de la velocidad sostenida.
- Exhausto (*Exhausted*) aparece en aquel punto del caño en el que el pez ha nadado durante un tiempo más allá del punto de extenuación para la velocidad de nado considerada.
- Barrera (*Barrier*) aparece en el primer punto encontrado por el pez en el que la velocidad del agua sea superior que sus capacidades de nado, y el mensaje **N/A** aparece en los puntos del caño que quedan por encima de un punto barrera y que por lo tanto son inaccesibles al pez. El pez bien se encuentra con velocidades superiores a su capacidad de nado o bien queda exhausto en un punto más aguas abajo del caño.

La tabla de la derecha (*WSP summary table*) muestra un resumen de las condiciones y de la capacidad de nado del pez objetivo para el caudal considerado:

- Calado normal (*Normal Depth*) - Muestra el calado normal para el caudal considerado.
- Calado crítico (*Critical Depth*) - Muestra el calado crítico para el caudal considerado.
- Profundidad en cabecera (*Headwater Depth*) – La profundidad del agua en el lado aguas arriba del caño, asumiendo que el flujo tiene un control de salida. La profundidad (carga) del agua es la diferencia entre la cota de la superficie libre del agua aguas arriba del caño y el punto más bajo de la sección de entrada del caño y está parcialmente determinada por la magnitud del coeficiente de pérdidas de carga de la entrada del caño.
- Velocidad de entrada (*Inlet Velocity*) – La velocidad aproximada del agua en la zona de entrada. La velocidad de entrada es mayor que la velocidad media de la sección transversal en el interior del caño.
- Profundidad aguas abajo del caño (*Tailwater Depth*) – La profundidad del agua a la salida del caño, medida desde el punto inferior de la sección de salida del caño.
- Tiempo de nado a velocidad punta (*Burst Swim Time*) – Muestra el número de segundos que el pez objetivo puede nadar con su velocidad punta. Cuando el pez ha alcanzado el tiempo de extenuación para esa velocidad, los cálculos se paran sin importar que éste haya

alcanzado o no la salida del caño. El tiempo de nado a velocidad punta será 0 si se ha seleccionado la velocidad sostenida o si se han seleccionado ambas pero la velocidad punta no ha sido necesaria para el paso del pez.

- Tiempo de nado a velocidad sostenida (*Prolonged Swim Time*) - Muestra el número de segundos que el pez objetivo puede nadar con su velocidad sostenida. Cuando el pez ha alcanzado el tiempo de extenuación para esa velocidad, los cálculos se paran sin importar que éste haya alcanzado o no la salida del caño. El tiempo de nado a velocidad punta será 0 si se ha seleccionado la velocidad punta o si se han seleccionado ambas pero la velocidad del agua en el caño exigen estrictamente el empleo de la velocidad punta.
- Código de barrera (*Barrier Code*) – Este código informa sobre si la velocidad del agua en el caño es una barrera al paso de los peces. La velocidad del agua puede ser barrera si:
 - V – El pez encuentra una velocidad del agua en el caño que supera sus capacidades de nado (barrera de velocidad estricta).
 - EB – El pez ha nadado empleando su velocidad punta durante más tiempo que el tiempo de extenuación (el pez queda exhausto por uso de la velocidad punta).
 - L – El pez ha nadado haciendo uso de su velocidad sostenida durante más tiempo que el tiempo de extenuación correspondiente. Esto ocurre casi siempre cuando los caños son demasiado largos (el pez queda exhausto por uso de la velocidad sostenida, caño demasiado largo).
 - Profundidad (*Depth*) – La profundidad del agua es inferior a la mínima requerida para el pez objetivo en más de la mitad de la longitud total del caño.
 - Salto (*Leap*) – Salto excesivo. El caño está colgado a demasiada distancia del estanque de salida. Comprueba los resultados bajo flujo uniforme para obtener más detalles al respecto.
 - Ninguno (*None*) – Las velocidades son aceptables para el paso del pez objetivo.

Nota: Siempre conviene comprobar si la profundidad a lo largo del caño es suficiente para el pez objetivo. Si la salida está colgada, también conviene mirar si el salto es excesivo.

c. Interpretando los efectos de remanso.

El remanso o refluo del agua hacia el interior del caño puede beneficiar el paso de los peces al incrementar la profundidad y reducir la velocidad del agua. El siguiente esquema recoge el proceso

que se debe seguir para identificar cuando el fenómeno del remanso del agua está presente y cómo interpretar los perfiles hidráulicos con respecto al paso de los peces.

1. Entradas: Habilidades de los peces, geometría del caño, cota del agua a la salida del caño, caudales de diseño.

Nota: Los caudales usados en el cálculo de los WSP deben incluir el caudal máximo y mínimo de diseño de paso de los peces (Q_{\max}/Q_{\min}).

2. Cálculo. Abrir los resultados para flujo uniforme (*Uniform Flow Results*).
 - a. Si $V > V_{\max}$ (velocidad excesiva) para Q_{\max} ; o $y_n > y_{\min}$ (profundidad insuficiente) para Q_{\min} , ir a 3.
 - b. Si a no se cumple ir a 5.
3. Si $y_{TW} > y_n$ y además $y_{TW} > y_{\text{crítico}}$ ir a 4; si no ir a 6.
4. Consulta el perfil hidráulico (WSP) para determinar si el efecto del remanso del agua influye suficientemente en el caño. Abre los resultados del WSP.
 - a. Comprueba las profundidades. Examina las profundidades del agua ante el caudal mínimo de diseño.
 - i. Si la profundidad $< y_{\min}$ a lo largo de todo el caño. No hay efectos de remanso: el caño no tiene profundidad suficiente.
 - ii. Si el punto i no se cumple y la profundidad $> y_{\min}$ a lo largo de todo el caño. Existe una influencia del efecto de remanso del agua en el caño. El caño no es una barrera por efecto de la profundidad.
 - iii. Si la profundidad $< y_{\min}$ sólo en parte del caño. Existen efectos parciales de remanso del agua en el caño. Solamente una parte del caño logra la profundidad mínima adecuada.
 - b. Comprueba las velocidades. Examina el tiempo de nado para el caudal máximo de diseño.
 - i. Si el tiempo de nado $>$ tiempo de extenuación. Velocidad o longitud del caño excesivas. El pez resulta extenuado antes de alcanzar la entrada del caño (barrera debida a la velocidad).

- ii. Si el punto i no se cumple y el tiempo de nado < tiempo de extenuación. Suficiente efecto de remanso. El caño no es una barrera debida a la velocidad.
 - iii. Si el tiempo de nado = tiempo de extenuación. Exceso de velocidad. La velocidad del agua en el caño es mayor que la velocidad de nado del pez (barrera debida a la velocidad).
5. No hace falta el análisis de las condiciones de remanso del agua en el caño. El caño respeta los criterios de velocidad y de profundidad bajo condiciones de flujo uniforme.
 6. No hay efectos de remanso. El caño no satisface los criterios de velocidad o de profundidad.

Donde:

Q_{\max} = Caudal máximo de diseño de paso de los peces.

Q_{\min} = Caudal mínimo de diseño de paso de los peces.

V_{\max} = Velocidad máxima admisible del agua.

y_n = Calado normal.

y_{\min} = Calado mínimo necesario según la especie objetivo.

y_{TW} = Calado en el cauce aguas abajo del caño.

Tiempo de nado = Tiempo que el pez puede mantener su velocidad punta y/o sostenida (en la hoja de resultados del WSP).

d. Resultados para condiciones de flujo uniforme (*Uniform Flow Results*).

La opción de resultados para flujo uniforme devuelve el resultado de los cálculos para:

- Velocidad del agua y profundidad bajo condiciones de flujo uniforme.
- Profundidad crítica.
- Profundidad del agua en el estanque de salida y del río aguas abajo del caño.
- Distancia de salto necesaria y velocidad para alcanzar la entrada del caño.

Información sobre el caño (*Culvert Information*).

Los resultados para flujo uniforme muestran información general sobre el caño en la columna de la izquierda del encabezado.

Características de los peces (*Fish Characteristics*).

Las características y capacidades de nado de la especie objetivo se muestran en la columna central del encabezado. La información incluye la especie, clase de edad, tiempo de migración, longitud caudal, y el tiempo de extenuación (*Time to Exhaustion*) que es la duración de nado que resultará en la extenuación del pez. El pez objetivo no es capaz de nadar durante más tiempo que el que especifica el tiempo de extenuación para la velocidad de nado y las condiciones del entorno consideradas.

Necesidades de paso de los peces (*Fish Passage Requirements*).

La columna de la derecha en el encabezado refleja las necesidades y obligaciones que implica el paso de los peces en función del caño seleccionado y de las capacidades de los propios peces.

- Máxima velocidad punta-sostenida del agua permitida (*Burst-Prolonged Max Allowable Water Velocity*) – La máxima velocidad del agua, asumida la condición de flujo uniforme, con la que el pez objetivo puede atravesar con éxito el caño. FishXing informa sólo sobre la máxima velocidad sostenida si se escoge utilizar ambas (*Use Both*) velocidades de nado. La máxima velocidad permitida del agua, V_{\max} , se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{\max} = V_{\text{pez}} - (L/t_{\text{ex}})$$

Donde V_{pez} es la velocidad sostenida ajustada, L es la longitud del caño, y t_{ex} es el tiempo de extenuación.

Cuando la máxima velocidad del agua calculada es negativa, aparece en pantalla como 0,0. Si la máxima velocidad del agua permitida es negativa para la/s modalidad/es de nado escogida/s entonces aparece el siguiente mensaje de alerta: **Imposible el paso. ¡Pez exhausto!** (*Not Passable. Fish Exhausted!*).

El valor es negativo cuando, para todas las velocidades del agua, el caño es demasiado largo como para que el pez pueda atravesarlo de un sólo intento sin descansar. Esta situación es más propia de las velocidades punta, las cuales sólo pueden ser mantenidas por el pez durante un periodo corto de tiempo.

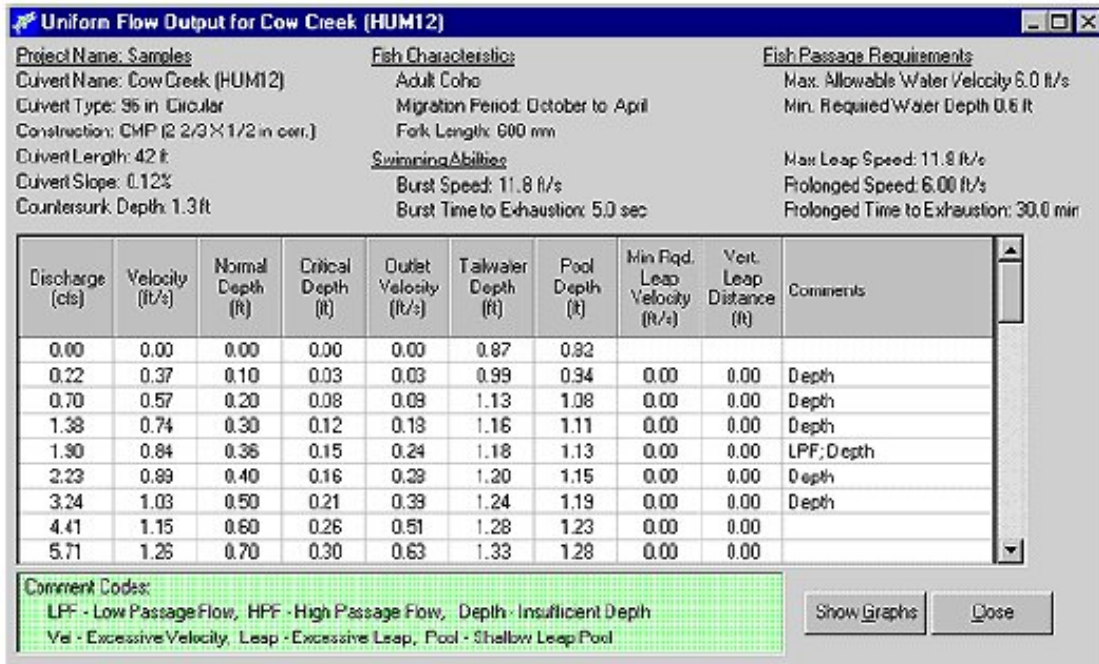
En caso de que este aviso aparezca en pantalla y estemos usando únicamente la velocidad punta, es buena idea el intentar usar sólo la velocidad sostenida o una combinación de ésta con la velocidad punta. Si la máxima velocidad del agua admisible para la velocidad de nado sostenida de la especie objetivo fuera de 0,0, el caño es probablemente demasiado largo y se debería contemplar la posibilidad de diseñar un caño nuevo como alternativa.

- Profundidad del agua mínima necesaria (*Min Required Water Depth*) – Muestra la profundidad mínima necesaria para que el pez objetivo pueda nadar, según lo dispuesto en la hoja de entrada de datos (*Input Sheet*).
- Máxima velocidad de salto (*Max Leap Speed*) – Muestra la máxima velocidad de nado que el pez objetivo es capaz de utilizar para saltar (arranque del salto), según lo dispuesto en la hoja de entrada de datos. esta velocidad es normalmente la misma (o está cerca de ella) que la velocidad punta para esa especie.
- Caudal mínimo de paso (*Low Passage Flow*) – Muestra el caudal más bajo para el que se deben mantener las condiciones de paso de los peces. Este valor de caudal se introduce en la hoja de entrada de datos del caño (*Culvert Input Sheet*). El paso de los peces no es necesario para la especie objetivo cuando los caudales están por debajo de este caudal mínimo de paso.
- Caudal máximo de paso (*High Passage Flow*) – Muestra el límite superior de caudal para el que se deben mantener las condiciones de paso de los peces. Este valor se introduce en la hoja de entrada de datos del caño. El paso de los peces no es necesario para caudales mayores al caudal máximo de paso.

Tabla de resultados para flujo uniforme (*Uniform Flow Results Table*).

Esta tabla contiene la información sobre los aspectos hidráulicos en el interior del caño y las condiciones a la salida del mismo para un amplio rango de caudales. Los números en la tabla se calculan para intervalos de profundidad de 0,10 pies (0,30 metros). La tabla contiene caudales que van desde el 0,0 a aproximadamente el 170% del caudal máximo de diseño de paso de los peces

(High Passage Flow). Los cálculos pueden pararse antes de alcanzar ese caudal 170% del caudal máximo de paso si el calado normal llega a ser mayor que la altura interior de la sección del caño.



Las columnas que contiene la tabla son:

- Caudal (*Discharge*) – El caudal se calcula para un rango entre el 0,0 y el 170% del caudal máximo de diseño del paso de los peces para condiciones de flujo uniforme. Los caudales se calculan usando la ecuación de Manning, y los calados y velocidades medias asociadas asumen las condiciones de flujo uniforme a lo largo del caño.
- Velocidad para calado normal (*Velocity at Normal Depth*) – La velocidad que se muestra en esta columna corresponde a la velocidad media de la sección transversal del caño asociada a un caudal dado y asumiendo que el agua circula bajo condiciones de calado normal. La velocidad media se calcula según:

$$V = Q/A$$

donde Q es el caudal circulante y A es la sección mojada para el calado normal creado por ese caudal en el caño.

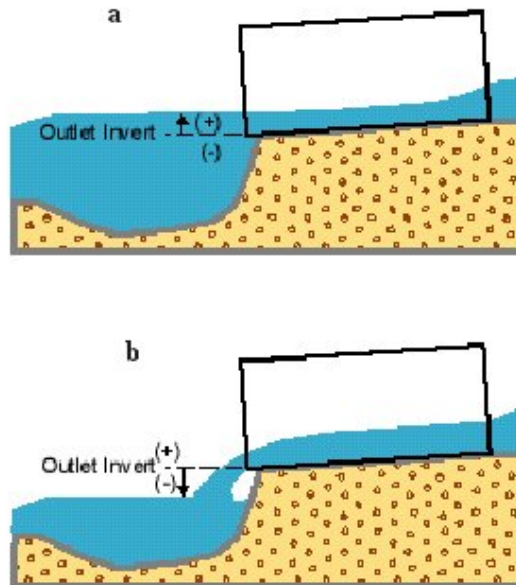
- Calado normal (Normal Depth) - el calado normal generado por el caudal de paso en el caño. El calado normal se muestra a intervalos de 0,10 pies (0,30 metros). El caudal y la velocidad media del agua se calculan para cada calado. La profundidad del agua en un caño alcanza el calado normal cuando no existen condiciones de remanso del agua que afecten al caño, y éste es lo suficientemente largo. El remanso o refluo del agua hacia el caño hace que la profundidad aumente y disminuye las velocidades del agua, mejorando normalmente las condiciones de paso de los peces.
- Calado crítico (*Critical Depth*) – Es el calado que tiene asociada la mínima energía para un caudal dado, y al que corresponde un número de Froude igual a la unidad. Cuando la profundidad del agua en el caño es mayor que el calado crítico, el flujo es subcrítico. Cuando es menor, el flujo es supracrítico. Comparando el calado normal con el calado crítico, el usuario puede determinar el tipo de pendiente del caño:
 - Si el calado normal es igual al calado crítico, el caño se encuentra en ***pendiente crítica*** (*Critical Slope*).
 - Si el calado normal es mayor que el calado crítico, el caño se encuentra con ***pendiente suave*** (*Mild Slope*).
 - Si el calado normal es menor que el calado crítico, el caño se encuentra con ***pendiente fuerte*** (*Steep Slope*).

Nota: La mayoría de los peces con malas aptitudes de nado necesitarán de flujos subcríticos para conseguir pasar con éxito los caños.

- Velocidad de salida (*Outlet Velocity*) – La velocidad media del agua a la salida del caño. Esta velocidad depende de la profundidad del agua aguas abajo del caño (*Tailwater Depth*) y del tipo de pendiente del caño (suave o fuerte).
 - a. Profundidad del agua aguas abajo del caño (*Tailwater Depth*) – Es la profundidad del agua inmediatamente aguas abajo de la salida del caño medida desde el punto más bajo de la sección de salida del caño.

La profundidad será positiva cuando la cota de la superficie del agua aguas abajo del caño está por encima de la cota del punto más bajo de la sección de salida del caño; lo cual supone que no exista caída de agua y que no sea necesario el salto del pez para tener acceso al caño.
 - b. La profundidad será negativa cuando la cota de la superficie libre del agua aguas abajo del caño sea menor que la cota del punto más bajo de la sección de salida del

caño. En esta situación, la salida del caño estará colgada y habrá una caída de agua que podrá obligar a los peces a tener que saltar para acceder al interior del caño.



Nota: Si la profundidad aguas abajo del caño (*Tailwater Depth*) es mayor que el calado crítico y que el calado normal, puede ser que haya un efecto de remanso o reflujo del agua hacia el caño que puede ser beneficioso para el paso de los peces al reducir las velocidades del agua y aumentar la profundidad en el caño. En estos casos conviene comprobar el perfil hidráulico (WSP) para determinar la extensión de ese efecto de remanso del agua.

- Profundidad del estanque de salida (*Pool Depth*) – La profundidad del estanque de salida es la máxima profundidad inmediatamente a la salida del caño. Se define como:

Profundidad del estanque = (cota del agua aguas abajo del caño – cota del fondo del estanque)

En los casos en los que el pez necesite saltar para entrar en el caño, la profundidad del estanque se comprueba para ver si es suficiente, lo cual sucede si se cumple que la profundidad del estanque es mayor de 1,5 veces la longitud caudal del pez.

- Distancia horizontal de salto (*Horizontal Leap Distance*) – La distancia horizontal calculada que debe saltar el pez para entrar en el caño. Se mide desde la sección de salida del caño hasta el punto más alejado aguas abajo de intersección del chorro de salida con la superficie

del agua en el río. Si no existe caída de agua a la salida del caño, la distancia horizontal de salto será 0.

- Distancia vertical de salto (*Vertical Leap Distance*) – La distancia vertical de salto es la altura que el pez debe de saltar para lograr entrar en el caño desde el estanque de salida. Se mide desde la superficie libre del agua en la sección de salida del caño hasta la superficie del estanque de salida. Si no hay caída de agua a la salida del caño, esta distancia será de 0.
- Velocidad mínima de salto necesaria (*Min Required Leap Velocity*) – Esta velocidad es la velocidad inicial o de arranque que debe imprimir el pez a su salto para alcanzar con éxito el caño cayendo horizontalmente sobre la superficie del agua a la entrada del mismo.

Nota: FishXing asume que el pez toma el salto con el ángulo adecuado y que la fricción del aire es despreciable.

- Comentarios (*Comments*) – La columna de comentarios notifica de cuando existen problemas potenciales de paso de los peces (no se logra una o varias de las condiciones de paso). Los avisos de esta columna están definidos para permitir identificar el factor o los factores limitantes al paso de los peces para cada caudal estudiado. Se dan a continuación las condiciones que provocan la aparición de los distintos avisos:
 - Calado insuficiente (*Insufficient Depth*) – El calado normal en el caño es inferior al calado mínimo requerido.
 - Velocidad excesiva (*Excessive Velocity*) – La velocidad media en el caño (asumiendo las condiciones de flujo uniforme) es mayor que la velocidad del agua máxima admisible.
 - Salto excesivo (*Excessive Leap*) – La velocidad mínima de salto necesaria es mayor que la velocidad máxima de salto del pez objetivo. El caño es una barrera vertical.
 - Estanque de salida poco profundo (*Shallow Leap Pool*) – La profundidad del estanque de salida es menor de 1,5 veces la longitud caudal del pez objetivo, lo que posiblemente produzca condiciones no favorables de arranque en los intentos de salto del pez. Este comentario únicamente aparece si el caño tiene la entrada colgada.
 - Caudal mínimo de paso (Low Passage Flow) – El caudal considerado supone el límite superior de caudal para el paso de los peces. El paso de los peces no se requiere para caudales menores.
 - Caudal máximo de paso (High Passage Flow) – El caudal considerado supone el límite superior para el paso de los peces. El paso de los peces no se requiere para caudales mayores.

VI. Hidráulica de los caños.

VI.I Definición del calado normal.

El calado normal se define como la profundidad del agua en un cauce o en un caño cuando la pendiente de la superficie del agua y la del lecho o solera del cauce o caño coinciden (la profundidad del agua permanece constante). FishXing hace uso de la ecuación de Manning para estimar el calado normal asociada a cada caudal de paso considerado.

Nota: El caudal para calado normal en los caños a menudo presenta las velocidades medias más altas y las menores profundidades para dicho caudal. El empleo de los calados normales en el diseño de los pasos para peces es un criterio conservativo que ignora los efectos potenciales de remanso o reflujos del agua que podrían incrementar el rango de caudales aptos para el paso de los peces.

Campos relacionados: Coeficientes de rugosidad.

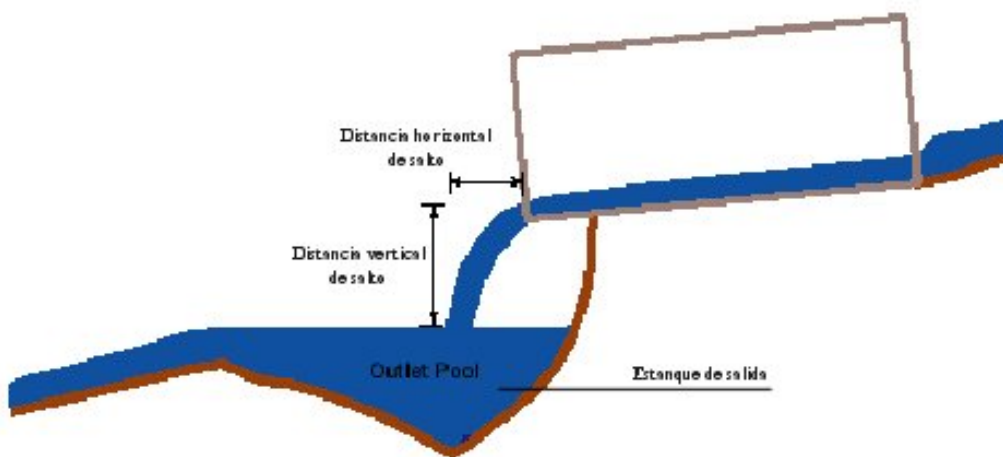
VI.II Máxima velocidad admisible del agua.

$$V_{\max} = V_{\text{pez}} - (L/t_{\text{ex}})$$

donde V_{pez} es la velocidad sostenida ajustada, L es la longitud del caño, y t_{ex} es el tiempo de extenuación.

VI.III Cálculos para los saltos.

El agua que abandona un caño con su salida colgada tiene una velocidad con componente horizontal y vertical. Si despreciamos todas las pérdidas por fricción, se puede aplicar la ecuación simple de tiro parabólico al chorro de agua. Mediante esta ecuación, FishXing calcula la distancia horizontal, L , recorrida por el chorro de agua hasta alcanzar la superficie del estanque de salida, y después asume que ese lugar es dónde el pez realizará el arranque del salto.

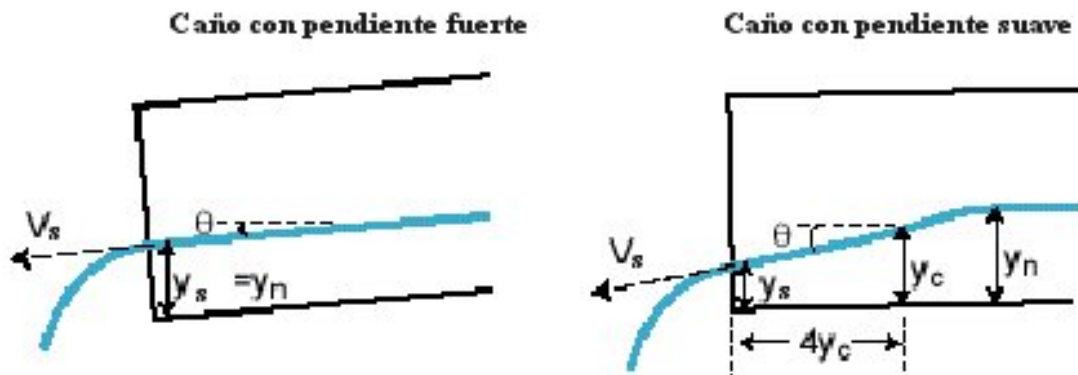


La altura de la caída del agua, H , y la distancia horizontal que ésta recorre hasta alcanzar la superficie del estanque de salida, L , se describe por las siguientes ecuaciones:

$$H = V_s \text{ sen } (\theta) t - \frac{1}{2} g t^2 \quad [1]$$

$$L = V_s \text{ cos } (\theta) t \quad [2]$$

donde V_s es la velocidad de salida del agua en la salida del caño, g es la aceleración de la gravedad, t es el tiempo que transcurre desde que el agua sale del caño hasta que llega al estanque de salida, y θ es el ángulo con el que el agua deja el caño.



Para los caños con pendientes fuertes (calado normal (y_n) < calado crítico (y_c)), se asume que el agua presenta calado normal a la salida del caño, haciendo que el ángulo de salida, θ , sea igual a la pendiente del caño (en grados).

Cuando la pendiente del caño es suave ($y_n > y_c$), el perfil hidráulico presenta una curva tipo M2 curvada hacia abajo según se acerca a la salida colgada del caño. Basándose en el trabajo de Rouse (1938) y de Behlke *et al.* (1991), FishXing asume que la superficie del agua alcanza el calado crítico a una distancia de $4y_c$ aguas arriba de la salida del caño. Adicionalmente, la profundidad del agua a la salida del caño, y_s , es función de la geometría del caño y de la sección mojada del caño para calado crítico:

$$A_s = 0,71 A_c \quad [3]$$

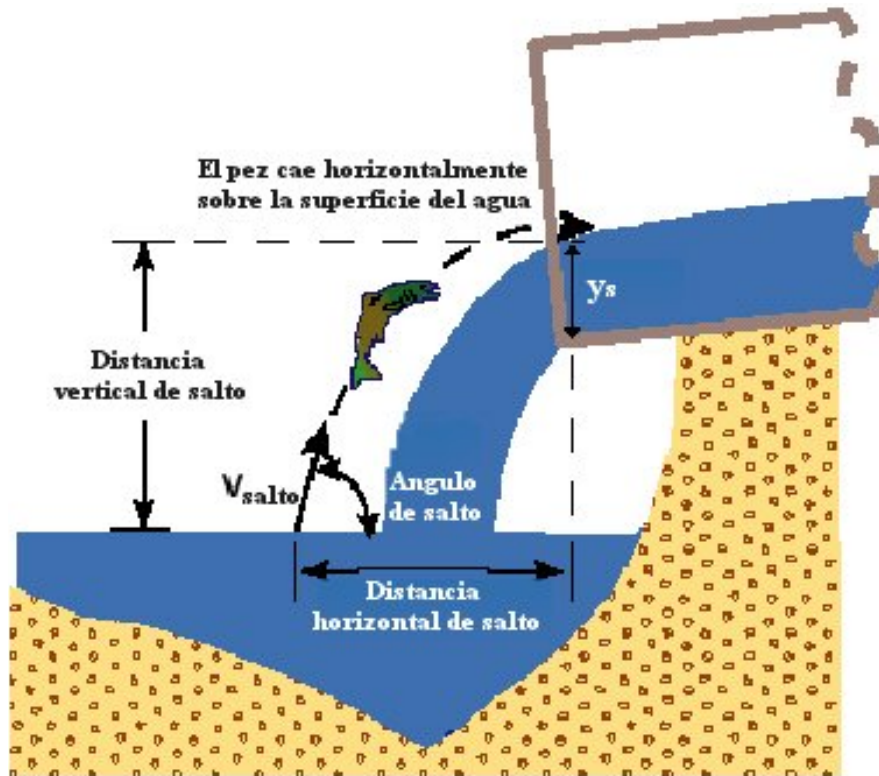
donde A_s es la sección mojada por el caudal de paso a la salida del caño y A_c es la sección mojada para calado crítico. El ángulo de salida, θ , en los caños de pendiente fuerte es la suma de la pendien-

te del caño y de la pendiente de la superficie libre del agua en la salida del caño, relativa al propio caño:

$$\theta = \tan^{-1} [(y_c - y_s)/4y_c] + \tan^{-1} (\text{pendiente del caño}) \quad [4]$$

El tiempo, t , puede ser estimado sustituyendo la ecuación [4] en la ecuación [1]. Finalmente, la distancia horizontal, L , se calcula mediante la ecuación [2].

FishXing asume que L , la distancia horizontal que el agua recorre desde la salida del caño hasta el estanque de salida, es también la distancia horizontal de salto que el pez debe saltar para lograr entrar en el caño.



Las ecuaciones de tiro parabólico [1] y [2] se aplican al pez que ha de saltar cuando $V_s = V_{\text{salto}}$ y $\theta = \theta_{\text{salto}}$. En ellas, V_{salto} y θ_{salto} son respectivamente la velocidad y el ángulo de salida que el pez debe imprimir a su salto para caer horizontalmente sobre el agua a salida del caño. FishXing usa una aproximación por iteración para obtener las dos variables y da la velocidad como velocidad de salto mínima requerida (*Minimum Required Leap Velocity*). Si el pez salta con una velocidad inferior a la mínima desde ese lugar del estanque de salida, no podrá alcanzar la superficial del agua en

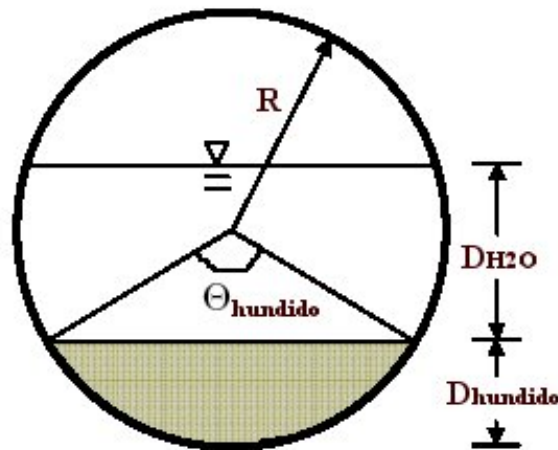
la salida del caño. Dentro del rango de caudales de paso de los peces, si la velocidad de salto mínima requerida es mayor que la máxima velocidad de salto del pez objetivo, el caño se considera una barrera vertical.

Referencias:

- Behlke, Charles E., Douglas L. Kane, Robert F. McLean, y Michael D. Travis. 1991. Fundamentals of culvert design for passage of weak-swimming fish. Final Report, Alaska, DOT&PF, Fairbanks, AK, FHWA-AK-RD-90-10, February, 1991, 177 p.
- Rouse, Hunter. 1938. Fluid mechanics for hydraulic engineers. Engineering Societies Monographs, 1st ed. McGraw Hill Book Co., New York, NY, 415 p.

VI. IV Ecuaciones para los caños circulares.

Las siguientes ecuaciones son usadas por FishXing para calcular el perímetro mojado, ancho superficial, y la sección mojada en los caños de sección circular.



$$\theta_{\text{hundido}} = 2 \cos^{-1} [(R - D_{\text{hundido}})/R]$$

$$A_{\text{hundido}} = (R^2/2) [\theta_{\text{hundido}} - \text{sen}(\theta_{\text{hundido}})]$$

$$P_{\text{fondo}} = 2 R \text{sen}(\theta_{\text{hundido}}/2)$$

$$\theta_{H2O} = 2 \cos^{-1} [(R - (D_{\text{hundido}} + D_{H2O})) / R]$$

$$P_{\text{lados}} = R\theta_{H2O} - P_{\text{hundido}}$$

$$W_{\text{tope}} = 2 R \sin (\theta_{H2O} / 2)$$

$$A_{H2O} = [R^2 (\theta_{H2O} - \sin(\theta_{H2O})) / 2] - A_{\text{hundido}}$$

Donde:

D_{hundido} = Profundidad hundida,

A_{hundida} = Área hundida,

P_{hundido} = Perímetro exterior del área hundida,

P_{fondo} = Perímetro del agua en el fondo (0 para un caño sin pendiente),

P_{lados} = Perímetro de la sección circular desde la profundidad hundida hasta la superficie libre del agua,

W_{tope} = Ancho superficial del agua.

VI. V Ecuación de Manning.

$$Q = (\phi/n) AR^{2/3} S_0^{1/2}$$

donde Q es el caudal, ϕ es 1 para unidades del SI y 1,49 para unidades inglesas, n es el coeficiente de rugosidad de Manning, A es la sección mojada, R es el radio hidráulico y S_0 es la pendiente del canal o del caño.

VI. VI Rugosidad ponderada.

FishXing utiliza un coeficiente de rugosidad ponderado para calcular el caudal en caños que tienen un cauce natural en su interior (sustrato del lecho del río), como es el caso de los caños de sección en arco abierto o los caños hundidos. Los coeficientes de rugosidad se ponderan basándose en el perímetro mojado de las superficies con distintos coeficientes de rugosidad en una sección dada:

$$n = (n_1p_1 + n_2p_2)/(p_1 + p_2)$$

donde n es el coeficiente de rugosidad ponderado, n_1 y n_2 son los coeficientes de rugosidad del caño y del sustrato del cauce, y p_1 , p_2 son los perímetros mojados de las paredes del caño y del lecho del caño.

VI. VII Número de Froude.

El número de Froude, Fr , es un número adimensional que describe distintos regímenes de flujo en cauces abiertos. Se define como:

$$Fr = (Q^2T / gA^3)$$

donde Q es el caudal, T el ancho superficial, g la aceleración de la gravedad y A la sección mojada. Cuando:

$$\begin{aligned} Fr = 1 & \text{ El flujo es crítico} \\ Fr > 1 & \text{ El flujo es supracrítico} \\ Fr < 1 & \text{ El flujo es subcrítico} \end{aligned}$$

VI. VIII Caños hundidos.

Los caños hundidos (*embedded, sunken, countersunk* o *depressed* en inglés) tienen su fondo a una cota inferior a la del lecho del cauce natural del río. Este emplazamiento resulta en un caño con sustrato natural a lo largo de su fondo, con un incremento de la rugosidad del fondo del caño y disminución de las velocidades del agua.

La opción de hundir un caño puede ser también empleada para emplazar caños metálicos con soleras de hormigón. Escoge ***hundido*** (*Sunken*) e introduce la profundidad aproximada y la rugosidad del hormigón.

VI. IX Interpolación lineal.

Estima un valor deseado asumiendo una línea recta entre dos valores conocidos.

VI. X Extrapolación lineal.

Estima un valor deseado más allá del último registro introducido en la tabla extendiendo una línea recta a partir de los dos últimos registros.

VI. XI Factores de reducción de la velocidad (*Velocity Reduction Factors*).

El factor de reducción de la velocidad, K_{occ} , se multiplica por la velocidad media del agua, V_m , para determinar la velocidad del agua que afronta el pez, V_{occ} .

Por ejemplo, Behlke *et al.* (1991) sugiere usar los siguientes factores de reducción para el *Thymallus arcticus*:

Entrada del caño $K_{occ} = 0,8$

Interior del caño $K_{occ} = 0,6$

Salida del caño $K_{occ} = 0,8$

Hay que tener cuidado al usar los factores de reducción de la velocidad. Estos factores varían sustancialmente y están influenciados por la forma y rugosidad del caño, su alineamiento con respecto al cauce del río aguas arriba, y la talla del pez. Distintas situaciones hidráulicas pueden eliminar la existencia de una vía continua de velocidades bajas. Además, los peces de mayor talla pueden no ser capaces de evitar las regiones de altas velocidades, con lo que no sería apropiado usar los factores de reducción de la velocidad en estos casos.

VI. XII Velocidad de entrada (*Inlet Velocity*).

El entorno hidráulico de en la entrada de un caño se define según un patrón de flujo rápidamente variable. Existen dos secciones definidas en la zona de entrada del caño que hay que considerar: una zona de contracción de la línea de corriente a medida que el agua entra en el caño, y una zona de expansión inmediatamente aguas abajo de la anterior.

Las pérdidas de carga tienen lugar mientras el agua pasa por la zona de entrada del caño a su interior. La cuantía de estas pérdidas depende del coeficiente de pérdidas de carga que hayamos se-

leccionado y de la velocidad del agua en el interior del caño. El coeficiente de pérdidas de carga es función de la eficiencia en la transición del paso del agua del río al caño.

A medida que el agua entra en el caño, las velocidades aumentan hasta llegar al punto de máxima contracción. En esta zona se produce una caída de la línea de carga en el perfil hidráulico del agua y un incremento proporcional de la energía cinética (sin considerar los efectos por rozamiento). A medida que el agua avanza hacia aguas abajo en el caño, las velocidades del agua se reducen y la energía cinética se pierde. La zona de contracción, debido al incremento de las velocidades, puede impedir el paso de los peces. FishXing deduce la velocidad máxima de contracción asumiendo que las pérdidas de carga a lo largo de la zona de entrada del caño se transforman por completo en energía cinética, y que esta energía se pierde posteriormente en la zona de expansión.

FishXing utiliza la siguiente ecuación para calcular la velocidad de contracción, V_c ; dato que muestra como velocidad de entrada (inlet velocity) en la hoja de resultados del perfil hidráulico (WSP):

$$V_c = (1+K_e)^{1/2} V_B$$

donde K_e es el coeficiente de pérdidas de carga de la entrada del caño, y V_B es la velocidad del agua en el interior del caño inmediatamente aguas abajo de la entrada (después de la zona de expansión).

VI. XIII Salida colgada (*Perched Outlet*).

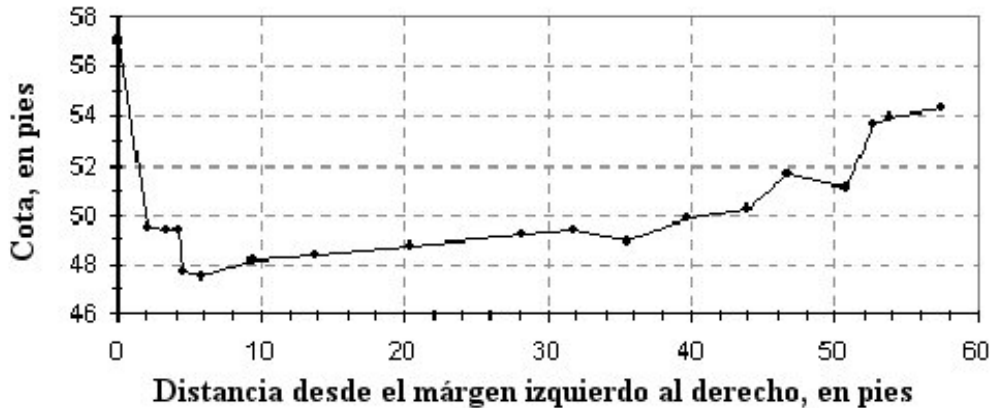
Se trata de un caño con salida a cota más alta que la superficie del agua en el río aguas abajo, permitiendo la situación de caída del agua.

VI. XIV Tramo del río aguas abajo del caño (*Tailwater*).

Se trata de la superficie del agua inmediatamente aguas abajo del caño. A menudo coincidente con la superficie del agua en el estanque de salida.

VI. XV Ejemplo de sección transversal.

Sección transversal aguas abajo



La sección transversal debe estar siempre localizada en el punto de control de las condiciones hidráulicas aguas abajo del caño (*tailwater control*).

VI. XVI Punto inferior de la sección de entrada.

Se mide en el centro de la sección de entrada del caño tanto para caños estándar como para caños hundidos. Si el caño está hundido, este punto será la cota del lecho o suelo natural a la entrada del caño y no la cota correspondiente al punto más bajo de la sección del caño.

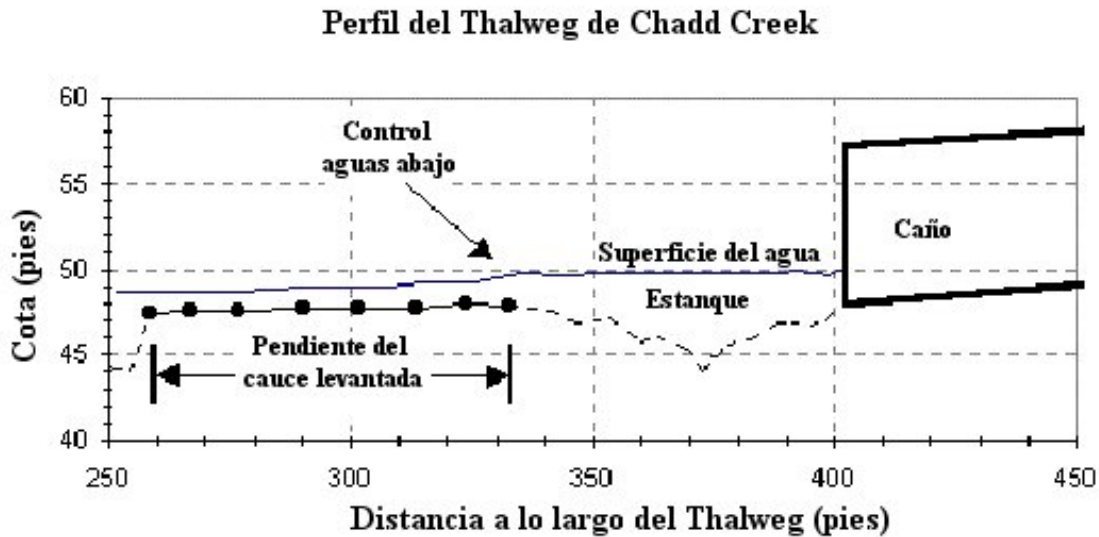
VI. XVII Punto inferior de la sección de salida.

Se mide en el centro de la sección de salida del caño tanto para caños estándar como para caños hundidos. Si el caño está hundido, este punto será la cota del lecho o suelo natural a la salida del caño y no la cota correspondiente al punto más bajo de la sección del caño.

VI. XVIII Punto inferior del estanque de salida.

Es la cota del punto más bajo del fondo del estanque de salida.

VI. XIX Pendiente del cauce.



Pendiente del cauce = 0.60%

Pendiente de la superficie libre del agua = 0.84%

Rugosidad, $n = 0.40$

Siempre se debe medir la cota del punto de control aguas abajo del caño. Cuando se estime usar el método de la sección transversal, se debe medir la pendiente de la superficie libre del agua comenzando en el punto de control aguas abajo del caño y finalizando en el primer cambio sustancial de pendiente en el cauce o en la superficie del agua.

VI. XX Velocidades de nado predeterminadas (*Default Swim Speeds*).

FishXing tiene recopiladas un cierto número de velocidades de nado para distintas especies de peces. Estas están presentes en dos formas: las ecuaciones de regresión y las velocidades constantes.

Para más información sobre estas dos velocidades véase la página 14 de este manual.

Ecuaciones de capacidades de nado.

Las ecuaciones de regresión para las velocidades de nado de los peces fueron desarrolladas por Hunter y Mayor (1986) basándose en una colección de datos recogida en trabajos previos de labora-

torio. Cada ecuación de regresión se aplica a una especie de forma única y usa la longitud caudal y el tiempo de nado como variables. La forma general de la ecuación es la siguiente:

$$V = aL^b t^{-c}$$

donde V es la velocidad de nado del pez, L la longitud, t el tiempo hasta la extenuación, y a,b,c son las constantes de la regresión.

Por defecto, FishXing utiliza un tiempo de extenuación de 5 segundos para las velocidades punta de los peces, y de 30 minutos para las velocidades sostenidas. La siguiente tabla recoge los coeficientes predeterminados (a, b, c) de la ecuación de velocidad que el programa presenta para determinadas especies, tallas y estadios. Los rangos de longitud de los peces no tiene por qué definir la clase de edad. Algunos rangos de longitudes contemplados en el programa incluyen tanto los peces adultos como los juveniles.

Coefficientes de velocidades de nado para los juveniles.

Especies	Coefficientes Punta			Coefficientes Sostenida			Mín long. (mm)	Máx long. (mm)
	a	b	c	a	b	c		
<i>Salvelinus alpinus</i>	4.30	0.00	0.49	2.690	0.606	0.08	70	420
<i>Thymallus arcticus</i>	-	-	-	1.670	0.193	0.10	60	400
<i>Salmo salar</i>	-	-	-	36.310	1.720	0.00	30	52
<i>Coregonus nasus</i>	-	-	-	1.460	0.450	0.10	50	400
<i>Salvelinus fontinalis</i>	-	-	-	1.990	0.430	0.10	40	270
<i>Lota lota</i>	-	-	-	2.230	0.070	0.26	100	700
<i>Oncorhynchus keta</i>	-	-	-	93.590	1.890	0.00	38	48
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	-	-	-	3.020	0.520	0.10	40	178
<i>Platygobio gracilis</i>	-	-	-	2.660	0.670	0.10	150	350
<i>Carassius auratus</i>	5.37	0.66	0.22	-	-	-	67	213
<i>Coregonus oidschian</i>	-	-	-	1.730	0.350	0.10	60	600
<i>Stenodus leucichthys</i>	-	-	-	1.290	0.175	0.10	70	800
<i>Catostomus catostomus</i>	-	-	-	2.390	0.529	0.10	30	700
<i>Esox lucius</i>	-	-	-	1.170	0.550	0.10	100	800
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	15.98	0.81	0.50	3.280	0.370	0.10	30	200
<i>Petromyzon marinus</i>	-	-	-	2.570	0.360	0.26	145	508
<i>Oncorhynchus nerka</i>	-	-	-	4.420	0.500	0.10	77	200
<i>Oncorhynchus mykiss</i> ¹	15.98	0.81	0.50	3.280	0.370	0.10	30	200
<i>Morone saxatilis</i>	-	-	-	22.110	0.580	0.30	29	115
<i>Stizostedion vitreum</i>	-	-	-	2.600	0.510	0.10	70	400
<i>Catostomus commersoni</i>	-	-	-	2.480	0.552	0.10	105	400

¹ Trucha arcoiris anadroma.

Coefficientes de velocidades de nado para los adultos.

Especies	Coefficientes Punta			Coefficientes Sostenida			Mín long. (mm)	Máx long. (mm)
	a	b	c	a	b	c		
<i>Salvelinus alpinus</i>	4.30	0.00	0.49	2.690	0.606	0.08	70	420
<i>Thymallus arcticus</i>	-	-	-	1.670	0.193	0.10	60	400
<i>Salmo salar</i>	11.34	0.88	0.50	0.173	0.680	0.50	52	500
<i>Coregonus nasus</i>	-	-	-	1.460	0.450	0.10	50	400
<i>Salvelinus fontinalis</i>	-	-	-	1.990	0.430	0.10	40	270
<i>Lota lota</i>	-	-	-	2.230	0.070	0.26	100	700
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	11.49	0.32	0.50	-	-	-	508	965
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	13.30	0.52	0.65	-	-	-	256	610
<i>Platygobio gracilis</i>	-	-	-	2.660	0.670	0.10	150	350
<i>Carassius auratus</i>	5.37	0.66	0.22	-	-	-	67	213
<i>Coregonus oidschian</i>	-	-	-	1.730	0.350	0.10	60	600
<i>Stenodus leucichthys</i>	-	-	-	1.290	0.175	0.10	70	800
Longnose Sucker	-	-	-	2.390	0.529	0.10	30	700
<i>Catostomus catostomus</i>	-	-	-	1.170	0.550	0.10	100	800
<i>Oncorhynchus gorbusha</i>	-	-	-	4.080	0.550	0.08	494	607
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	12.80	1.07	0.48	-	-	-	103	813
<i>Petromyzon marinus</i>	-	-	-	2.570	0.360	0.26	145	508
<i>Oncorhynchus nerka</i>	-	-	-	5.470	0.890	0.07	126	611
<i>Oncorhynchus mykiss</i> ¹	12.81	1.07	0.48	-	-	-	103	813
<i>Stizostedion vitreum</i>	-	-	-	2.600	0.510	0.10	70	400
<i>Catostomus commersoni</i>	-	-	-	2.480	0.552	0.10	105	400

¹ Trucha arcoiris anadroma.