

Problemas, metodologías y soluciones para evitar que las obras de drenaje transversal (ODT) supongan una merma de la conectividad de agua, sedimentos y biota en nuestros ríos
Valladolid, 23 de octubre de 2025

CONECTIVIDAD LONGITUDINAL Y OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL: ¡MUCHO POR HACER!

José Anastasio Fernández Yuste
Carolina Martínez Santa-María



E.T.S.I. MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Universidad Politécnica de Madrid

Problemas, metodologías y soluciones para evitar que las obras de drenaje transversal (ODT) supongan una merma de la conectividad de agua, sedimentos y biota en nuestros ríos
Valladolid, 23 de octubre de 2025

CONECTIVIDAD LONGITUDINAL Y OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL: **¡VALIENTE GILIPOLLEZ!**

José Anastasio Fernández Yuste
Carolina Martínez Santa-María



E.T.S.I. MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL

GILIPOLLEZ: Estupidez, bobada, ingenuidad...



Sophia Petrillo: “*Sicilia años veinte...*”

Madrid, mediados de los años 80...

- Ecosistema fluvial
- Caudales ecológicos...

¡GILIPOLLEZ!

Valladolid: Finales del siglo XX

- Demolición de azudes
- Eliminación y retranqueo de motas
- Permeabilización de estaciones de aforo
- Recuperación de espacio fluvial...

¡GILIPOLLEZ!

Valladolid: 2025

- Conectividad longitudinal y obras de drenaje transversal

¿VALIENTE GILIPOLLEZ?

Evitar que las obras de drenaje transversal (ODT) supongan una merma de la conectividad de agua, sedimentos y biota en nuestros ríos

¿GILIPOLLEZ?

2008_Stream Simulation: An ecological approach to providing AOP at road- stream crossings

2009_Vermont_Guidelines-for-the-Design-of-Stream-Road-Crossings-for-Passage-of-Aquatic-Organisms

2009_Cost Analysis of Alternative Culvert Installation Practices in Minnesota

2010_Culvert design and operation guide (UK)

2010_Culvert design for aquatic organism passage

2013_water crossing design guidelines

2015_Guidelines for the Design of Fish Passage for Culverts in Nova Scotia

2016_Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec

2016_Technical Guide for Field Practitioners: Understanding and Monitoring AOP at Road-Stream Crossings.

2018_Massachusetts Stream Crossings Handbook

2019_New Hampshire Stream Crossing Initiative. Field Manual

2019_Road-Stream Crossing Assessment Handbook

2020_Recommendations for IMPROVING THE EFFICIENCY OF CULVERT

2021_Georgia_stream-crossing-handbook

2021_Recommendations for Aquatic Organism Passage at Maryland Road-Stream Crossings

2021_Road_Stream_Crossing_Design_Manual

2024_Aquatic Organism Passage Implementation Guide

2025_Culver_FishPassage_Oregon cap9

2025_Culvert Design Guidelines for Ecological Function



CONCLUSIONES

VALOR: Calidad que permite emprender acciones arriesgadas o peligrosas con firmeza y decisión

- ✓ Es necesario un cambio de paradigma: Las obras de drenaje transversal (ODT), además de asegurar la transitabilidad viaria, deben ser ambientalmente funcionales, garantizando la conectividad para la biota, los sedimentos y los restos vegetales.
- ✓ Hay criterios científico-técnicos contrastados para su diseño, dimensionado y construcción, que compatibilizan su funcionalidad ambiental con la viaria.
- ✓ Es necesario integrar esos criterios en la normativa de drenaje superficial de carreteras (Norma 5.2-IC; 2016).
- ✓ También en el condicionado de las autorizaciones que establezca la administración del agua al amparo de los artículos 126 bis y ter del RDPH (2023).
- ✓ Incorporar la funcionalidad ambiental, reduce el coste cuando se considera el ciclo de vida.

❖ Si tienes oportunidad **¡aplícalo!**

ÍNDICE



¿Qué es la conectividad?

¿ODT y conectividad?

¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?

¿Qué dice la normativa?

¿Cómo diseñar ODT con criterios ambientales?

¿Cómo dimensionar y construir ODT con criterios ambientales?

Caso práctico

Conclusiones

¿Qué es la CONECTIVIDAD?

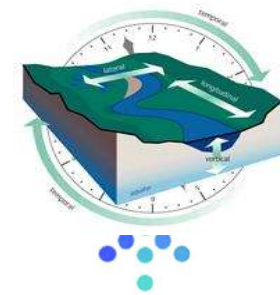
CONCEPTO

• **Ecología del paisaje:**

- Capacidad que ofrece un territorio para el movimiento de especies y otros flujos ecológicos (Saura, 2014).
- The degree to which the landscape facilitates or impedes movement among resource patches (Taylor et al., 1993).

• **Ecología fluvial:** Capacidad de un sistema fluvial para transferir energía, materia y organismos (Pringle, 2003).

• **Dimensiones a considerar:** Longitudinal, transversal, vertical y temporal.



Temporal

Variabilidad en el tiempo, en principio por estacionalidad y posteriormente por manejo o gestión.



Vertical

Entre el agua superficial con el fondo del cauce y con las aguas subterráneas que emergen y se unen al caudal.



Transversal

Flujos continuos entre el cauce y las riberas y viceversa que tienden a disminuir en la época de estiaje. La interacción debe permanecer siempre, cuando esta se pierde la transformación del ecosistema es inevitable, iniciando la fragmentación.



Longitudinal

Existencia de flujos continuos que provienen de la cuenca alta, hacia la media y la baja; y permiten la conservación del hábitat en la zona acuática y la terrestre y el mantenimiento y funcionalidad del ecosistema de ribera. Su interrupción provoca fragmentación.

¿Es importante la CONECTIVIDAD?

La pérdida de **conectividad longitudinal** en el cauce y la ribera, **puede afectar** a componentes, procesos y funciones del ecosistema fluvial y de los terrestres asociados:

- **Biota:**

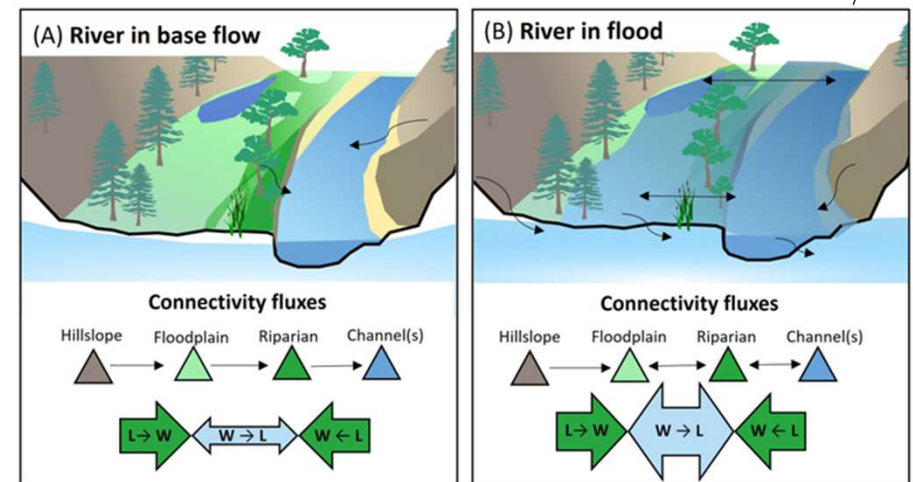
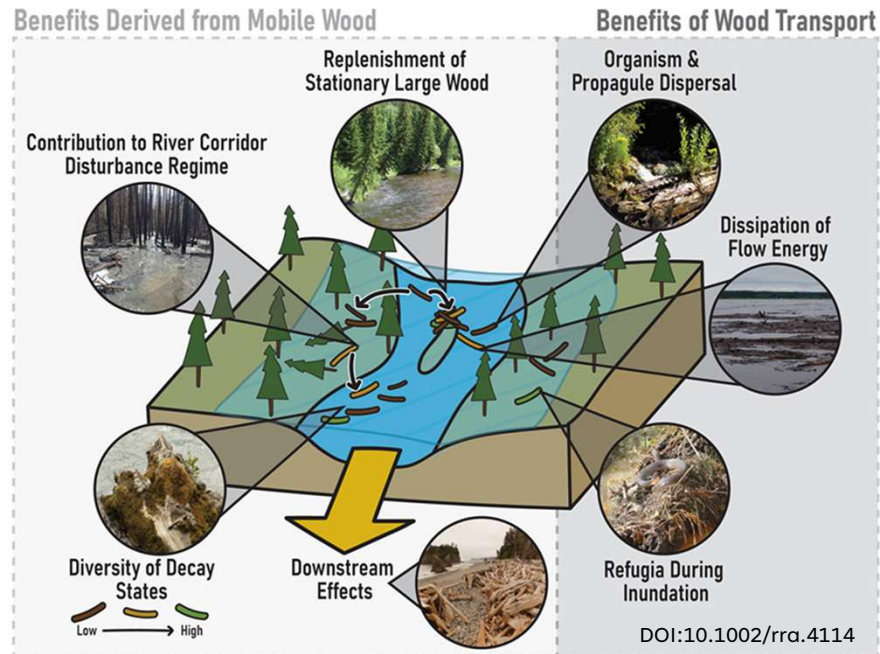
- Cauce: ictiofauna; anfibios; reptiles; micromamíferos (desmán; rata de agua...); náyades; crustáceos...
- Ribera: Mamíferos...

- **Dinámica sedimentaria:** Planta, sección y pendiente

- **Semillas y propágulos**

- **Restos vegetales**

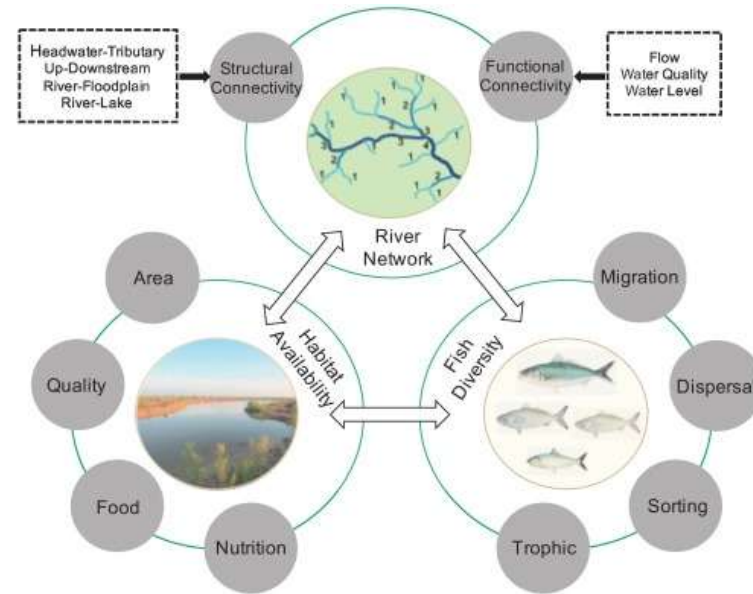
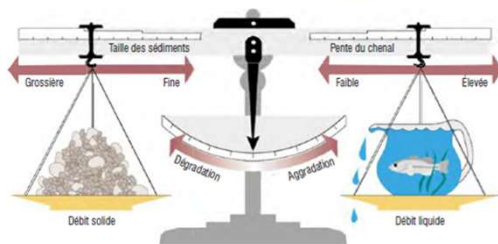
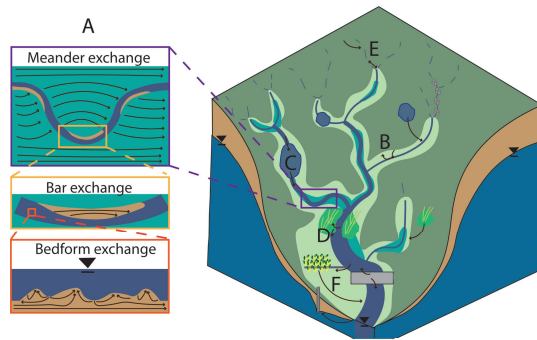
- ...



¿Es importante la CONECTIVIDAD?

Si la conectividad se interrumpe, la consecuencia es :

- **Biota:** Pérdida de hábitat; Reducción de poblaciones; Aislamiento genético; Desaparición de poblaciones



• Dinámica sedimentaria:

- Desequilibrio hidro-sedimentológico, desencadenando procesos no naturales de erosión de orillas y acreción y/o incisión del lecho
- Alteración de los procesos de disipación de energía

• Semillas y propágulos: Pérdida de biodiversidad en cauce y ribera

• Restos vegetales:

- Pérdida de refugios
- Pérdida de diversidad en el biotopo hidráulico

¿Cómo afectan las ODT a la ictiofauna?

Causas más frecuentes de pérdida de conectividad :

- Salto excesivo a la salida.



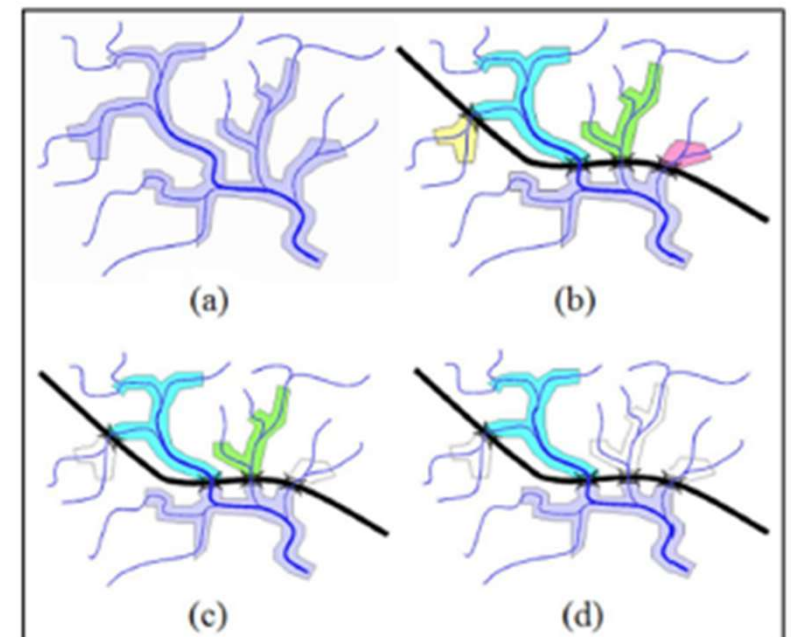
- Velocidad y/o turbulencia excesiva.



- Calado insuficiente en el interior del paso.



Consecuencia



¿Cómo afectan las ODT a otros animales?

Además de las señaladas para peces:

- Lecho artificial.
- Ausencia de paso seco.
- Falta de luz



¿Cómo afectan las ODT a sedimentos y restos vegetales?

Causas más frecuentes de pérdida de conectividad:

- Sección insuficiente.
- Alteración de la pendiente original del lecho.



Massachusetts Stream Crossings Handbook. 2015

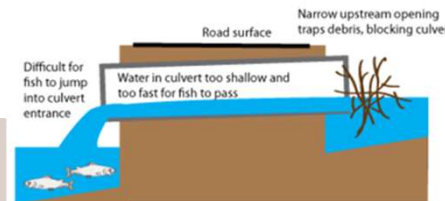


Figure 4.8—Brewster Creek road replacement box culvert, filled to 85 percent of its rise after 1 year.

The year after construction, the new culvert also filled with sediment to about 85 percent of its rise. The stream still overflows the road frequently. A simple recognition that the crossing was located in a depositional zone, coupled with an easy road-location change to only 150 feet upstream (figure 4.7), could have avoided this problem.

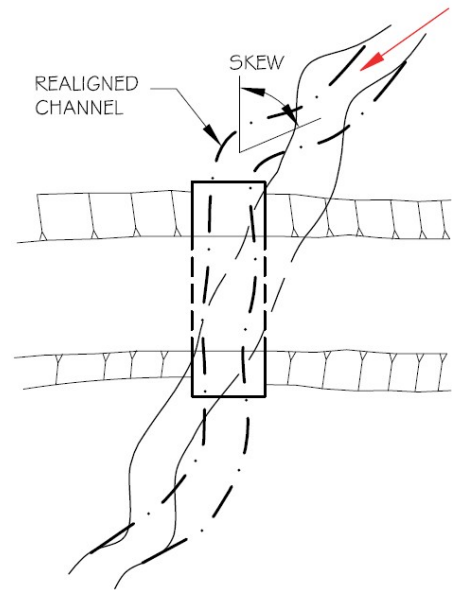


Figure 1.16—Debris and sediment at culvert inlet can be a fish barrier. Photo courtesy of Ross Taylor and Associates, McKinleyville, California.

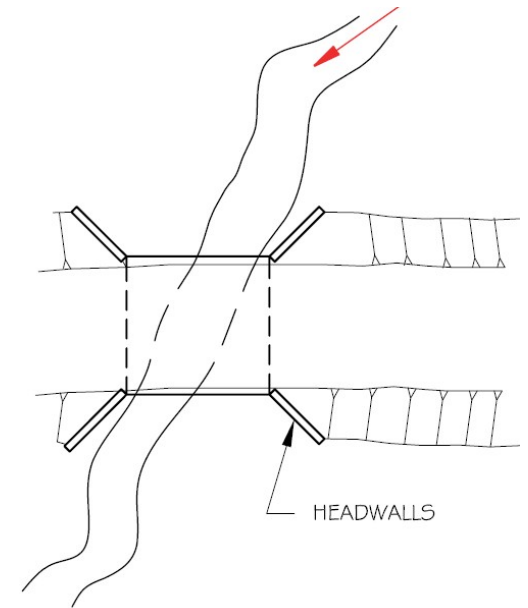
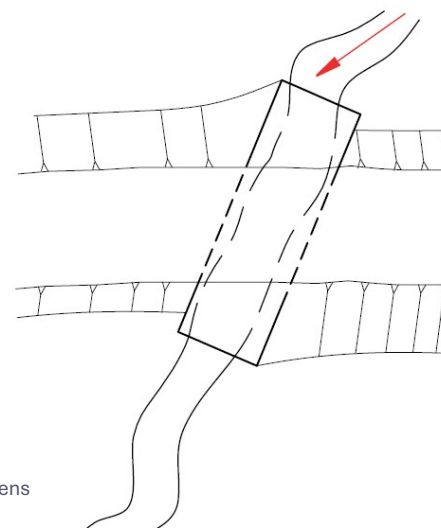
¿Cómo afectan las ODT a la dinámica morfológica?

Los cursos de agua se mueven horizontal y verticalmente en un proceso de equilibrio dinámico:

- La ODT debe tener en cuenta ese dinamismo.

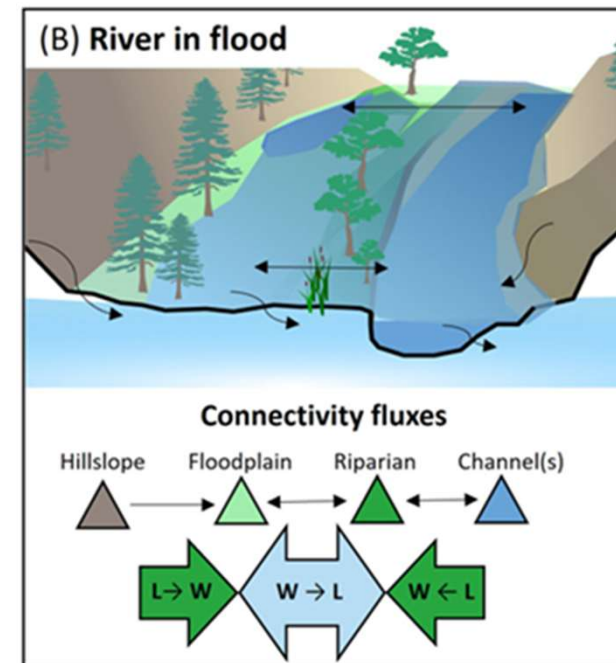
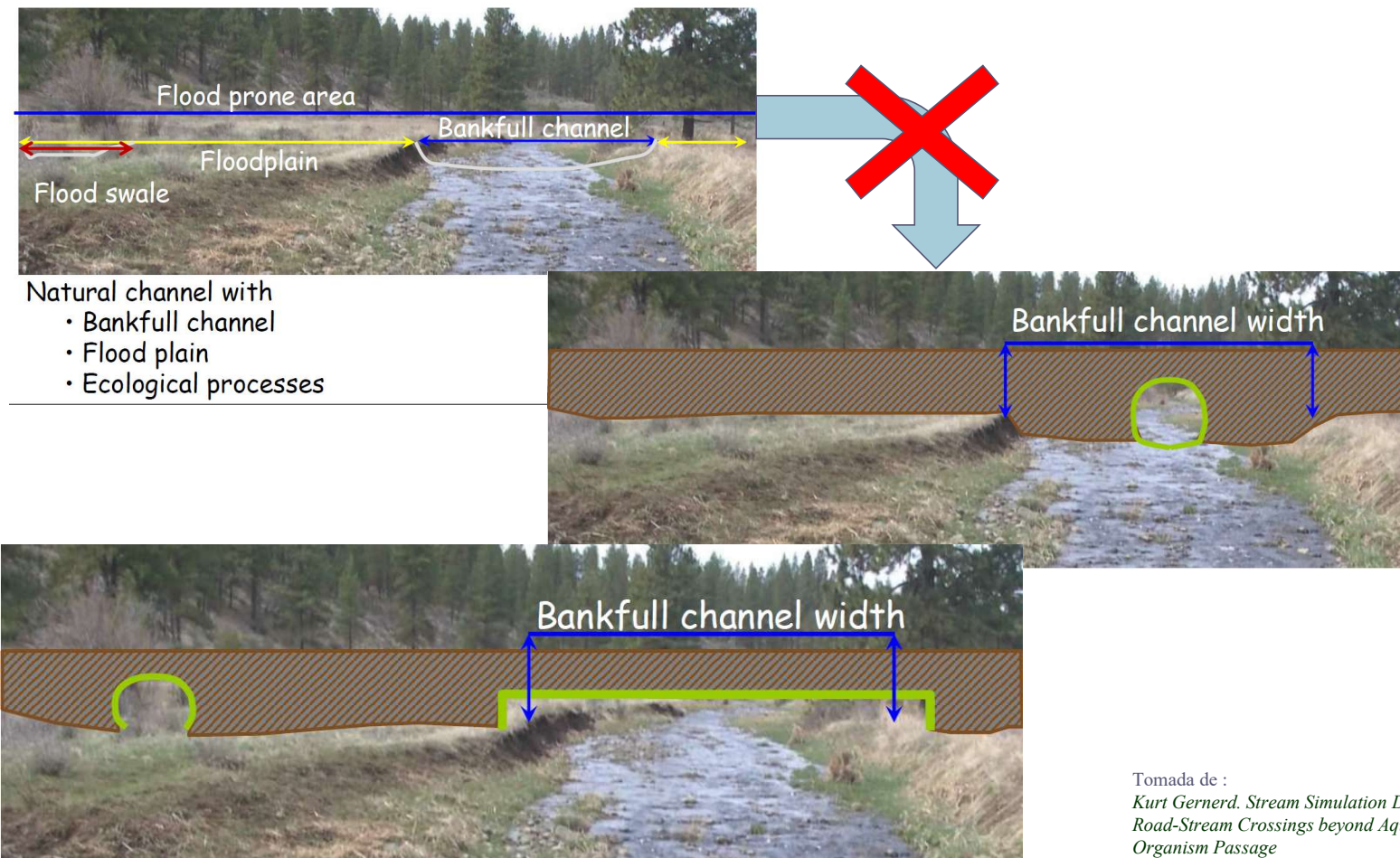


Fish Passage Solutions on the West Coast: Culverts, Tidegates, and Fish Screens



¿ODT y llanura de inundación?

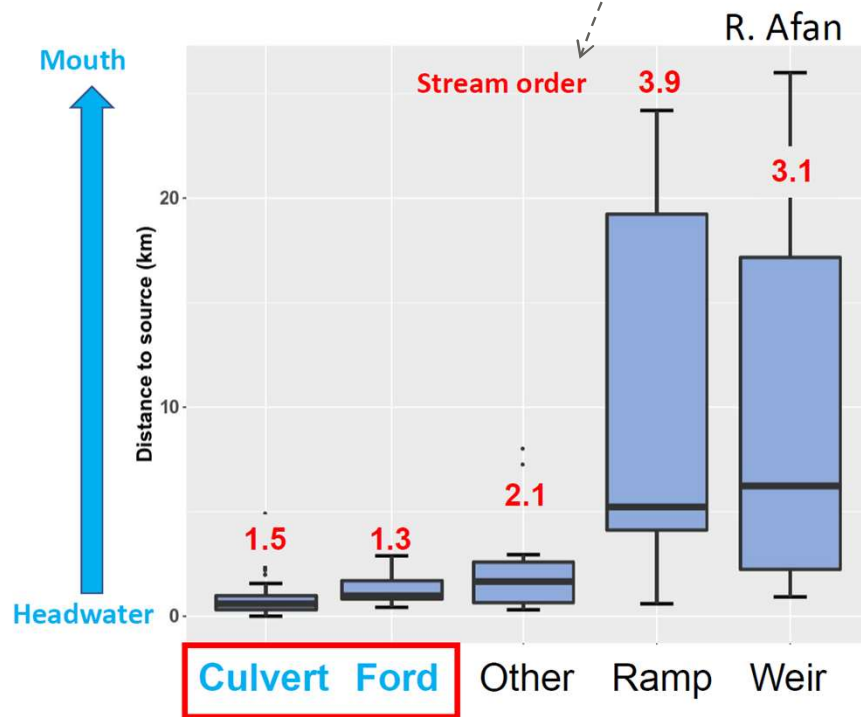
La circulación de agua, restos vegetales, sedimentos, propágulos y organismos por la llanura de inundación durante avenidas también debe considerarse:



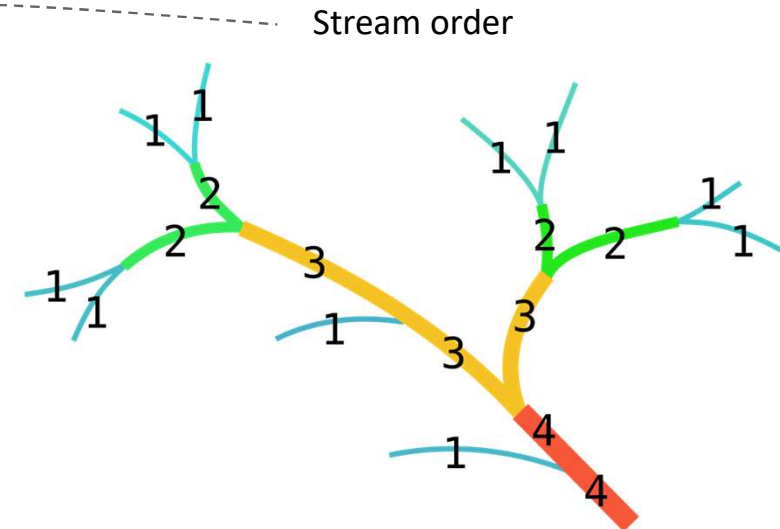
Tomada de :
Kurt Gerner. *Stream Simulation Designed
Road-Stream Crossings beyond Aquatic
Organism Passage*

¿Es importante el problema?

¿Dónde están las ODT?



Carlos García de Leaniz, 2024



En general:

- Las ODT están en cursos de agua pequeños
- Generalmente en cabecera, pero no siempre
- No siempre están contemplados como “masas de agua”, aunque forman parte del DPH

Consecuencia:

- La “visibilidad” social y administrativa es muy reducida
- Ambientalmente suelen pasar desapercibidos, a pesar de tener una gran relevancia

¿Es importante el problema?

¿Cuántas ODT hay?

$$N = \frac{n}{l} * L$$

No. culverts = *culvert dens.* * *River network*

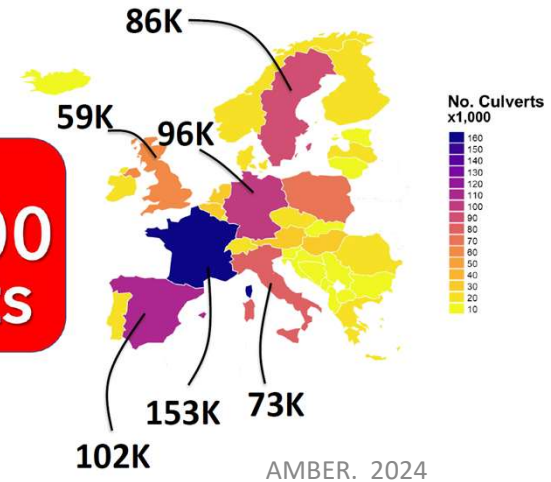
↑
0.125 culverts/km
in 1st-2nd order
streams¹

↑
80% of 5M km
are 1st-2nd order
streams²

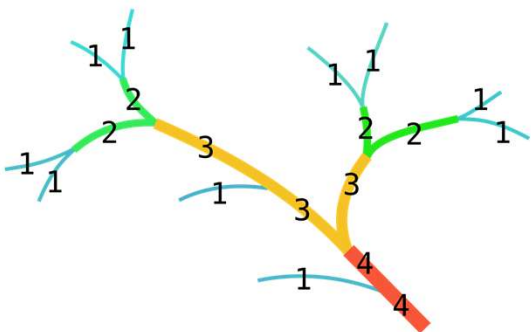
$0.125 \times 0.8 \times 5 \times 10^6 = 0.5M$ culverts?

Carlos García de Leaniz, 2024

potentially
**~930,000
culverts**

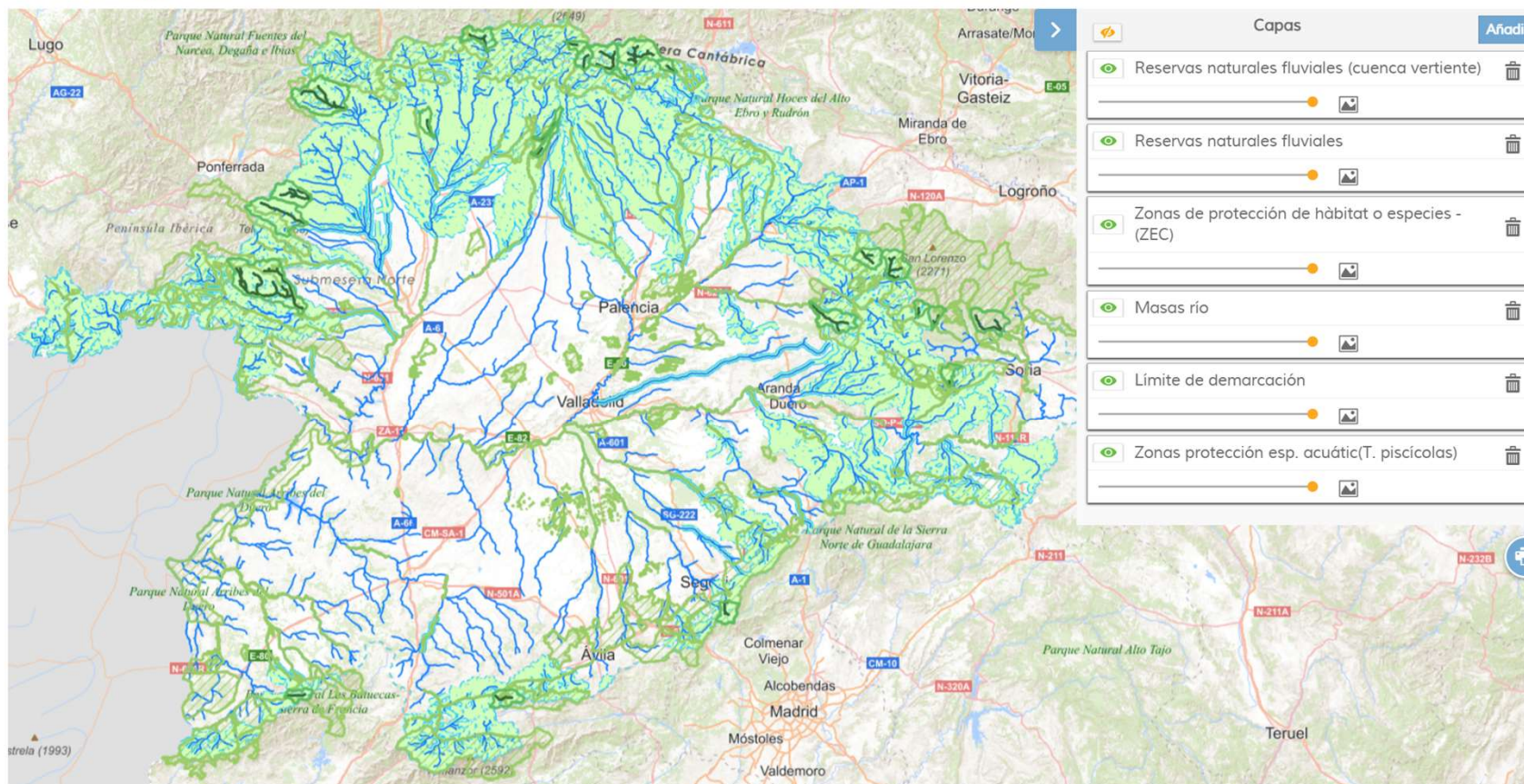


Muchos, sí, pero... los cauces de 1^{er} y 2^o orden ¿son ambientalmente importantes?

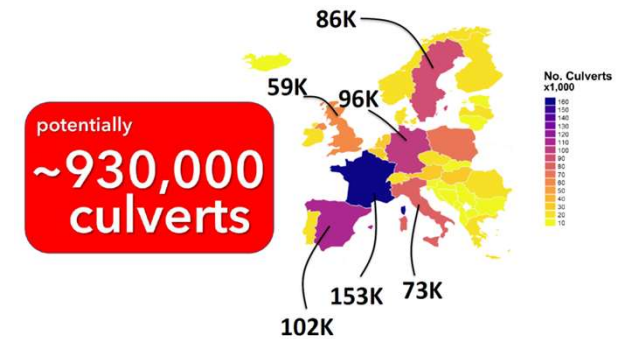


Los cauces de 1^{er} y 2^o orden ¿son ambientalmente importantes?

- Baja alteración cuantitativa y cualitativa
- Importantes en la conservación de hábitats y especies



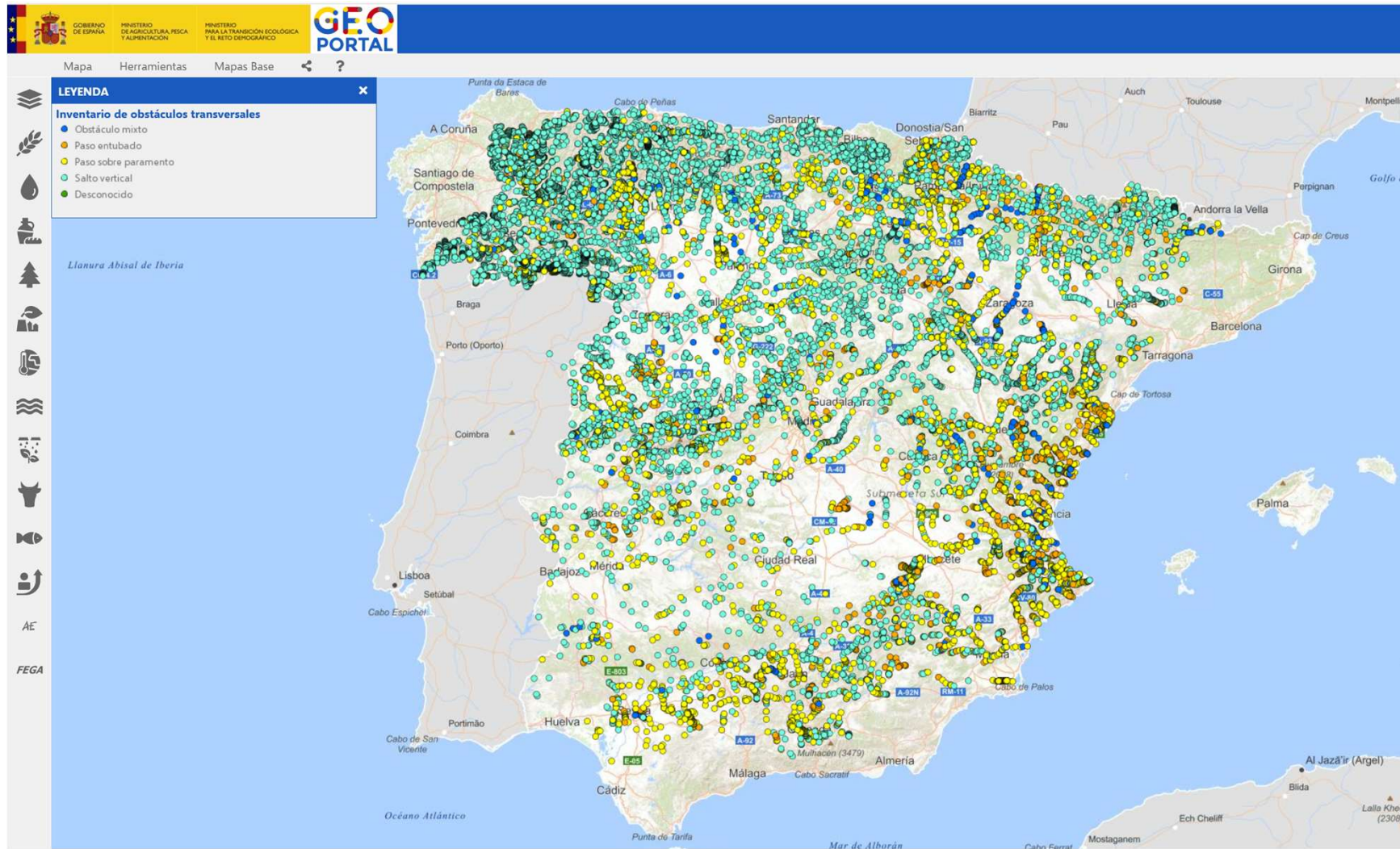
¿Es importante el problema?



10%

90%

¿Es importante el problema?



¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?



BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO



Núm. 60

Jueves 10 de marzo de 2016

Sec. I. Pág. 18882

I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE FOMENTO

2405 Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras.

4.2 Criterios básicos de proyecto

El proyecto del drenaje transversal se debe abordar conforme a la sistemática que a continuación se refiere:

- Definición de la cuenca principal, del cauce y del punto de cruce.
- Cálculo del caudal de proyecto Q_p .
- Elección de tipologías y dimensionamiento del puente u ODT. Encaje geométrico en el terreno.
- Comprobación hidráulica del puente u ODT.
- Cálculo de las variables hidráulicas necesarias para la determinación de acciones en el cálculo estructural.
- Proyecto completo del puente u ODT. La representación en los planos debe incluir la lámina de agua correspondiente al caudal de proyecto, las profundidades de erosión o socavación y en los anejos a la memoria se deben incluir las curvas características de las ODT.



La respuesta del BOE

Los puentes y ODT deben perturbar lo menos posible la circulación del agua por el terreno natural, cumpliendo al paso del caudal de proyecto las condiciones de desagüe que se refieren en los apartados 4.3 y 4.4 y las condiciones que establezca la Administración Hidráulica.

1.3.2 CAUDAL DE PROYECTO

Caudal de proyecto Q_p , es aquél que se debe tener en cuenta para efectuar el dimensionamiento hidráulico de una obra, elemento o sistema de drenaje superficial de la carretera. Se considera igual al caudal máximo anual correspondiente a los períodos de retorno que se indican a continuación, determinados conforme a lo especificado en el capítulo 2:

- Drenaje de plataforma y márgenes: veinticinco años ($T = 25$ años), salvo en el caso excepcional de desagüe por bombeo en que se debe adoptar cincuenta años ($T = 50$ años).
- Drenaje transversal: se debe establecer por el proyecto en un valor superior o igual a cien años ($T \geq 100$ años) que resulte compatible con los criterios sobre el particular de la Administración Hidráulica competente.

En el proyecto se pueden adoptar valores distintos en casos que se justifiquen de manera expresa.

¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?

La dimensión D_L de la tabla 4.1 hace referencia a (figura 4.20):

- Sección circular: Diámetro
- Sección rectangular: Lado menor
- Resto de secciones: El diámetro del mayor círculo que se pueda inscribir en la sección.

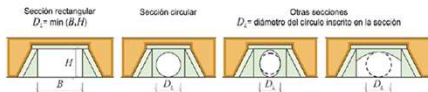


FIGURA 4.20 DIMENSIÓN LIBRE MÍNIMA

TABLA 4.1.- DIMENSIÓN MÍNIMA RECOMENDADA DE UNA ODT EN FUNCIÓN DE SU LONGITUD

L (m)	D_L (m)
$L (m) < 3$	$D_L (m) \geq 0,6$
$3 \leq L (m) < 4$	$D_L (m) \geq 0,8$
$4 \leq L (m) < 5$	$D_L (m) \geq 1,0$
$5 \leq L (m) < 10$	$D_L (m) \geq 1,2$
$10 \leq L (m) < 15$	$D_L (m) \geq 1,5$
$L (m) \geq 15$	$D_L (m) \geq 1,8$



1: Seleccionar marco (Tabla 4.1)

2: Estimar $Q_{\text{proyecto}}(T \text{ años})(m^3/s)$

3: Aplicar condicionado hidráulico:

C1: Control de entrada

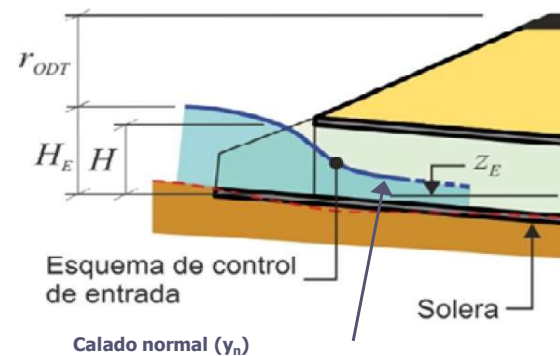
C2: Sobreelevación aguas arriba de la entrada a la ODT ($H_E - y_n \leq 0,5m$)

C3: Altura de lámina de agua aguas arriba de la entrada a la ODT ($H_E \leq 1,2 \cdot \text{altura libre en el marco a la entrada}(H)$)

C4: Resguardo hasta plataforma ($r_{ODT} \geq 0,5m$).

C5: $V < V$ máxima admisible para el material de la ODT

¿Sólo deben cumplir condiciones de desagüe?



¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?

¿Sólo deben cumplir condiciones de desagüe?



4.4.3.2 Secciones especiales para paso de fauna

Cuando en el proyecto se determine que es necesario facilitar el paso de fauna por una ODT se pueden proyectar secciones o dispositivos especiales que requieren un cálculo hidráulico específico, tales como:

- Canal de aguas bajas
- Obra semienterrada (lecho móvil)
- Escalas de peces
- Rampas en arquetas para pequeña fauna
- Otras

En las 142 páginas de la Norma...
es la única mención explícita a las funcionalidades ambientales!

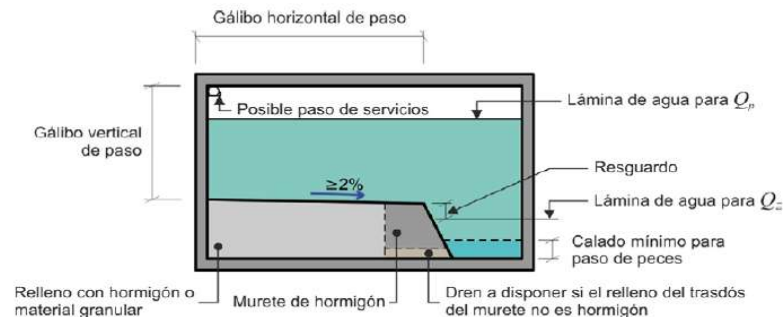


FIGURA 4.21 EJEMPLO DE SECCIÓN TRANSVERSAL ADAPTADA PARA PASO DE FAUNA

¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?

¿Sólo deben cumplir condiciones de desagüe?



4.4.3.2 Secciones especiales para paso de fauna

Cuando en el proyecto se determine que es necesario facilitar el paso de fauna por una ODT se pueden proyectar secciones o dispositivos especiales que requieren un cálculo hidráulico específico, tales como:

- Canal de aguas bajas
- Obra semienterrada (lecho móvil)
- Escalas de peces
- Rampas en arquetas para pequeña fauna
- Otras

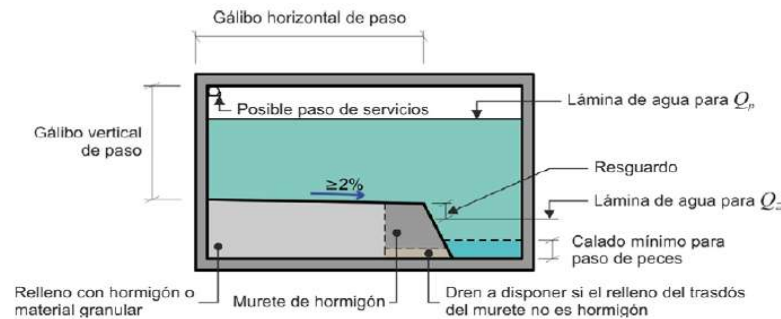


FIGURA 4.21 EJEMPLO DE SECCIÓN TRANSVERSAL ADAPTADA PARA PASO DE FAUNA

¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?



“Buena” ¿para quién?



Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats
causada por infraestructuras de transporte

1

PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE PASOS DE FAUNA Y VALLADOS PERIMETRALES (SEGUNDA EDICIÓN, REVISADA Y AMPLIADA)



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

2015

DRENAJE ADAPTADO PARA PECES

FICHA 10

Malas prácticas y errores más frecuentes



Figura 10.2. Drenajes situados en un badén que dificultan el paso de peces. Foto: F. Navás.



Figura 10.3. Escalón en el interior del drenaje que supone un obstáculo para el movimiento de fauna acuática. Foto: J. Dufek.



Figura 10.4. Desnivel excesivo que solo pueden superar los ejemplares adultos con mejor condición física. Foto: J. García Molinos.



Figura 10.5. Socavación de la base de la estructura que ha generado un desnivel insalvable para la fauna acuática. Foto: M. Clavero.

¿ES NECESARIO TENER EN
CUENTA LA FUNCIONALIDAD
AMBIENTAL DE LAS ODT?



2015

HAY UN BUEN PRECEDENTE...

HAY UN BUEN
PRECEDENTE...



2024

En las imágenes de la portada hay insectos, aves, anfibios, mamíferos, reptiles, pasos para fauna terrestre... pero **¡ninguna referencia al ecosistema fluvial!**

En las 80 páginas del texto **NO** aparecen ni una sola vez ninguna de las siguientes palabras:

- ✓ Río
- ✓ Cauce
- ✓ Arroyo
- ✓ Ribera
- ✓ Ecosistema fluvial
- ✓ Peces
- ✓ Ictiofauna



**¡QUE NO TIENE
CONTINUIDAD!**



TU PROBLEMA ES
QUE NO QUIERES
VER EL PROBLEMA



¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?

La respuesta del BOE (Administración hidráulica)

«Artículo 126 bis. Condiciones para garantizar la continuidad fluvial.

1. El organismo de cuenca promoverá el respeto a la continuidad longitudinal y lateral de los cauces compatibilizándolo con los usos actuales del agua y las infraestructuras hidráulicas recogidas en la planificación hidrológica.

2. En los condicionados de las nuevas concesiones y autorizaciones o de la modificación o revisión de las existentes, que incluyan obras transversales en el cauce el organismo de cuenca exigirá la instalación y adecuada conservación de dispositivos que garanticen su franqueabilidad por la ictiofauna autóctona. Igual exigencia tendrá lugar para las obras de este tipo existentes, vinculadas a concesiones y autorizaciones que incluyan esta obligación en su condicionado o que deban incorporar tales dispositivos en aplicación de la legalidad vigente.

Se podrá prescindir temporalmente de estos dispositivos por criterios ambientales o por inviabilidad técnica, a justificar adecuadamente en cada caso. En función de la evolución ambiental del tramo o de la mejora de las técnicas, el organismo de cuenca podrá exigir su instalación cuando las condiciones así lo aconsejen.

5. Para el otorgamiento de nuevas autorizaciones o concesiones de obras transversales al cauce, que por su naturaleza y dimensiones puedan afectar significativamente al transporte de sedimentos, será exigible una evaluación del impacto de dichas obras sobre el régimen de transporte de sedimentos del cauce. En la explotación de dichas obras se adoptarán medidas para minimizar dicho impacto.

6. El organismo de cuenca, en aplicación de la legalidad vigente y de forma subsidiaria, podrá llevar a cabo actuaciones de mejora de la continuidad fluvial en infraestructuras existentes, todo ello precedido de la tramitación del procedimiento administrativo correspondiente en el que se dé la posibilidad al particular, además



Núm. 208

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO



Jueves 31 de agosto de 2023

Sec. I. Pág. 121618

I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA,
RELACIONES CON LAS CORTES Y MEMORIA DEMOCRÁTICA

18806 Real Decreto 665/2023, de 18 de julio, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 de abril; el Reglamento de la Administración Pública del Agua, aprobado por Real Decreto 927/1988, de 29 de julio; y el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?

La respuesta del BOE (Administración hidráulica)

«Artículo 126 ter. *Criterios de diseño y conservación para obras de protección, modificaciones en los cauces y obras de paso.*»

3. El diseño de los puentes, pasarelas y obras de drenaje transversal en las autopistas, autovías y nuevas carreteras multicarril y convencionales y de la red ferroviaria, así como de aquellas otras vías de comunicación que den acceso a instalaciones y servicios básicos para la planificación de protección civil, se realizará de forma que no se ocupe la vía de intenso desagüe con terraplenes o estribos de la estructura de paso y no se produzcan alteraciones significativas de la zona de flujo preferente, para lo cual la obra de paso se complementará con posibles obras de drenaje adicionales y pasos inferiores.

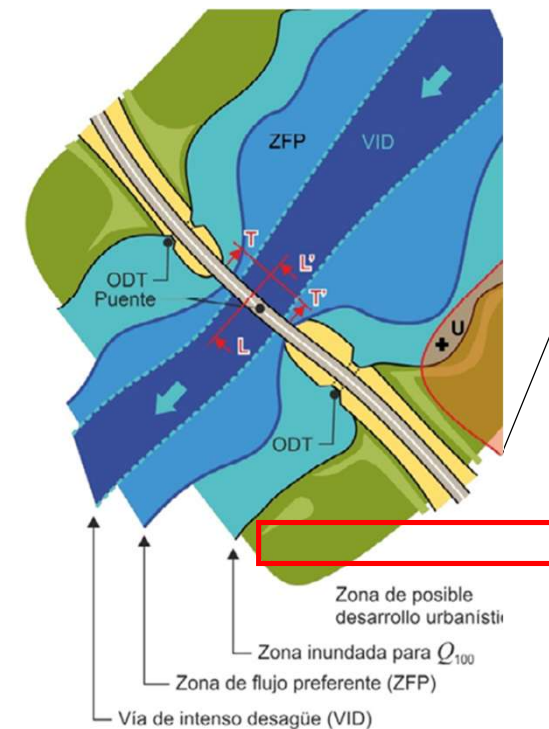
En caso necesario, podrán ubicarse pilas dentro de la vía de intenso desagüe, minimizando siempre la alteración del régimen hidráulico, y garantizando que la sobreelevación producida sea inferior a los límites establecidos en el artículo 9.2. En aquellas zonas donde pueda verse afectada la seguridad de las personas y bienes o el posible desarrollo urbanístico, la sobreelevación máxima será inferior a 10 centímetros.

4. Los puentes en caminos vecinales, vías y caminos de servicio y otras infraestructuras de baja intensidad de tráfico rodado, deberán tener, al menos, la misma capacidad de desagüe que el cauce en los tramos inmediatamente aguas arriba y aguas abajo. Asimismo, se diseñarán para no suponer un obstáculo a la circulación de los sedimentos y de la fauna piscícola, tanto en ascenso como en descenso.

I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA,
RELACIONES CON LAS CORTES Y MEMORIA DEMOCRÁTICA

18806 Real Decreto 665/2023, de 18 de julio, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 de abril; el Reglamento de la Administración Pública del Agua, aprobado por Real Decreto 927/1988, de 29 de julio; y el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.



¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?

La respuesta del BOE (Administración hidráulica)

«Artículo 126 ter. *Criterios de diseño y conservación para obras de protección, modificaciones en los cauces y obras de paso.*

5. En el diseño de los drenajes transversales de las vías de comunicación se respetarán en la medida de lo posible las áreas de drenaje naturales y deberán adoptarse las medidas necesarias para limitar el incremento del riesgo de inundación que pueda derivarse.

6. En todo caso, los titulares de estas infraestructuras deberán realizar las labores de conservación necesarias que garanticen el mantenimiento de la capacidad de desagüe de la misma, para lo cual los particulares facilitarán el acceso de los equipos de conservación a sus propiedades, no pudiendo realizar actuaciones que disminuyan la capacidad de drenaje de las infraestructuras.

8. Los organismos de cuenca podrán, en su caso, exigir a los titulares de infraestructuras en las que se prevea la construcción de obras de drenaje transversal que su diseño se realice de forma que no se ocupe la zona de servidumbre de cinco metros de anchura para uso público».



Núm. 208

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO

Jueves 31 de agosto de 2023

Sec. I. Pág. 121618



I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA,
RELACIONES CON LAS CORTES Y MEMORIA DEMOCRÁTICA

18806 Real Decreto 665/2023, de 18 de julio, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 de abril; el Reglamento de la Administración Pública del Agua, aprobado por Real Decreto 927/1988, de 29 de julio; y el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?

Otras respuestas...





National USFS AOP “Policy”

“Protect and Restore the Physical, Biological and Chemical integrity of the nations waters”
(Intent of the Clean Water Act)

Primary Design Priority:

- Aquatic organism passage and ecological connectivity is the goal and the first design priority for crossing streams that provide habitat for aquatic life.

Other Design Considerations:

- Minimizing the consequences of plugging and overtopping, including the ability to prevent stream diversion.
- Sufficient hydraulic capacity, including the requirement that headwater depth does not cause pressurized flow at the maximum flood.
- Maximize benefits while minimizing life cycle cost.

¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?

Otras respuestas... desde organismos públicos!



Publication No. FHWA-HIF-11-008
October 2010

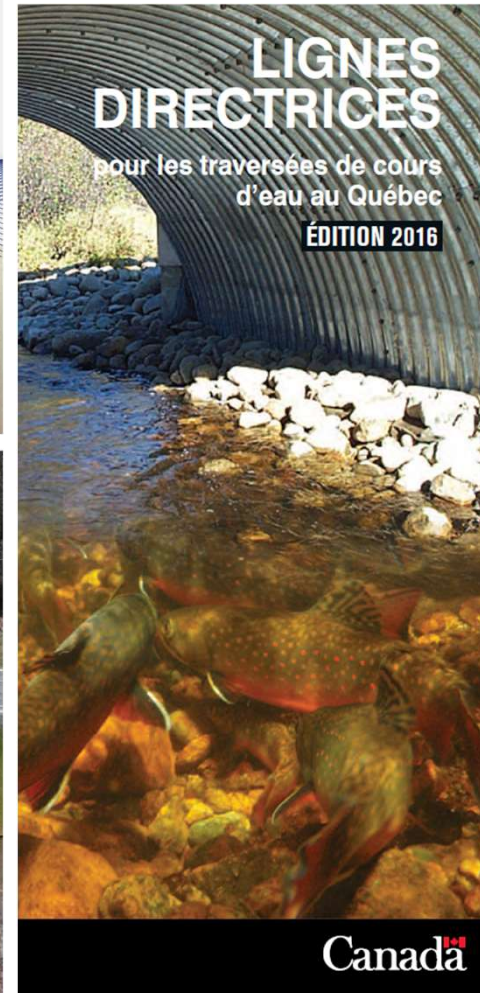
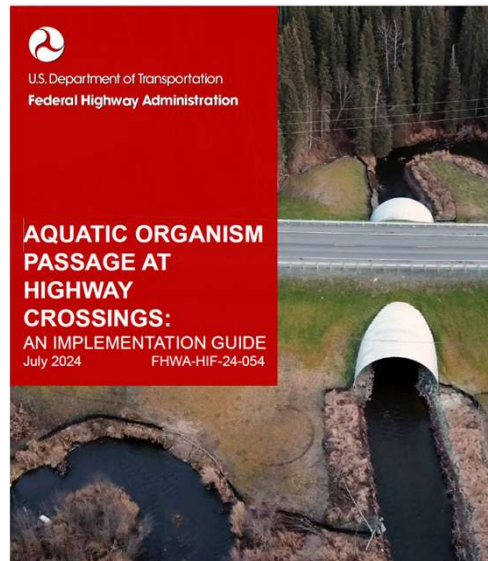
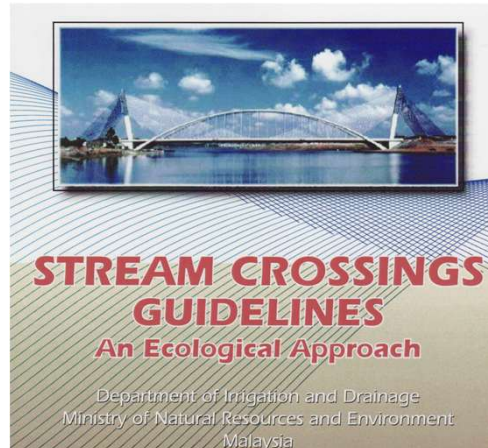
U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Hydraulic Engineering Circular No. 26, First Edition

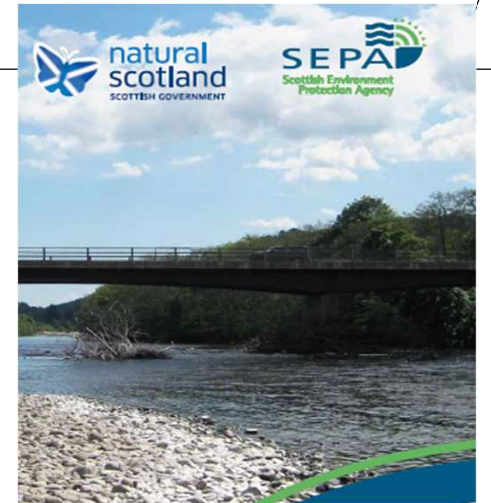
CULVERT DESIGN FOR AQUATIC ORGANISM PASSAGE

Minnesota Guide for Stream Connectivity and Aquatic Organism Passage Through Culverts

Minnesota Department of Transportation
Research Services & Library
395 John Ireland Boulevard, MS 330
St. Paul, Minnesota 55155-1899
mndot.gov/research



Engineering in the water environment: good practice guide
River crossings



Rhode Island Department of Transportation Road-Stream Crossing Design Manual

August 2021

prepared by vhb

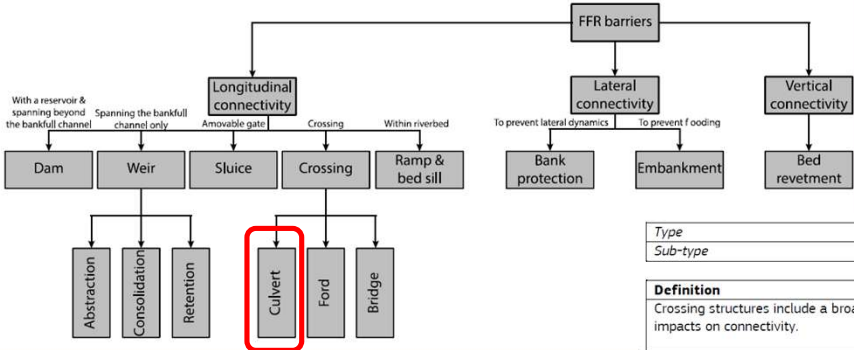


EUROPA AL RESCATE!!!



Annex 2. Overview of FFR relevant barrier types with their key attributes and impacts

Figure 9 - High-level overview of barrier types to be considered in the FFR assessment



Type	CROSSING STRUCTURES
Sub-type	General Description
Definition	
Crossing structures include a broad range of transversal barrier types (see sub-types below) with widely variable impacts on connectivity.	

Type	CROSSING STRUCTURES
Sub-type	Culvert
Definition	
A culvert is a structure aimed at carrying a stream or river under an obstruction (often secondary roads, forest tracks or railways). It varies in form from round and elliptical to box-shaped.	
Use: carrying a stream or river under an obstruction.	

Impacts on longitudinal/lateral/vertical connectivity	
Longitudinal connectivity always to be considered, but its relevance in relation to sediment transport and fish mobility needs to be assessed case by case, depending in the size and design of the structure.	
Negligible impact on lateral connectivity.	
Local impact on vertical connectivity.	



Round (left) and box-shaped (right) culverts

Las ODT (culvert) aparecen de manera explícita en los tipos de barreras que puede hacer que un tramo de río no pueda ser considerado de flujo libre.

EL REGLAMENTO EUROPEO DE RESTAURACIÓN DE LA NATURALEZA PLANTEA ALCANZAR EN 2030 25000 KILÓMETROS DE RÍOS DE FLUJO LIBRE.

EN LA ESTRATEGIA NACIONAL DE RESTAURACIÓN DE RÍOS, ESPAÑA SE COMPROMETE A CONTRIBUIR CON 3000 KILÓMETROS.

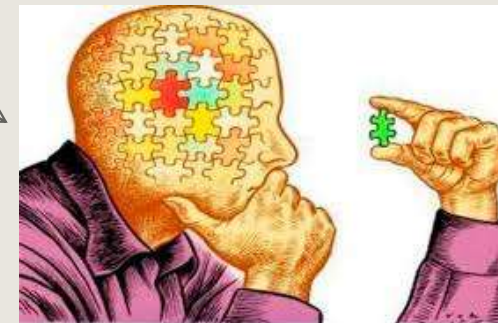
UN ALTO EN EL CAMINO: QUÉ SABEMOS Y QUÉ PODEMOS HACER

Sabemos que:

- ✓ Las ODT concebidas únicamente con criterios de funcionalidad viaria pueden afectar muy negativamente a la “salud” de los ecosistemas fluviales.
- ✓ Es un problema importante.
- ✓ La legislación vigente no contempla, para su diseño y cálculo, la aplicación de criterios que garanticen la funcionalidad ambiental de las ODT.

¿Qué podemos hacer?

- ✓ Hacer llegar al “*legislador*” la necesidad de que incorpore en la normativa y en las autorizaciones la consideración de criterios ambientales en el diseño y dimensionado de ODT.
- ✓ Incorporar en nuestros diseños de ODT la funcionalidad ambiental.
- ✓ En la fase de construcción y mantenimiento, velar porque esa funcionalidad se garantice.





ÍNDICE

¿Qué es la conectividad?

¿ODT y conectividad?

¿Qué requisitos debe cumplir una “buena” ODT?

¿Qué dice la normativa?

¿Cómo diseñar ODT con criterios ambientales?

¿Cómo dimensionar y construir ODT con criterios ambientales?

Caso práctico

Conclusiones

¿Cómo diseñar ODT con criterios ambientales?

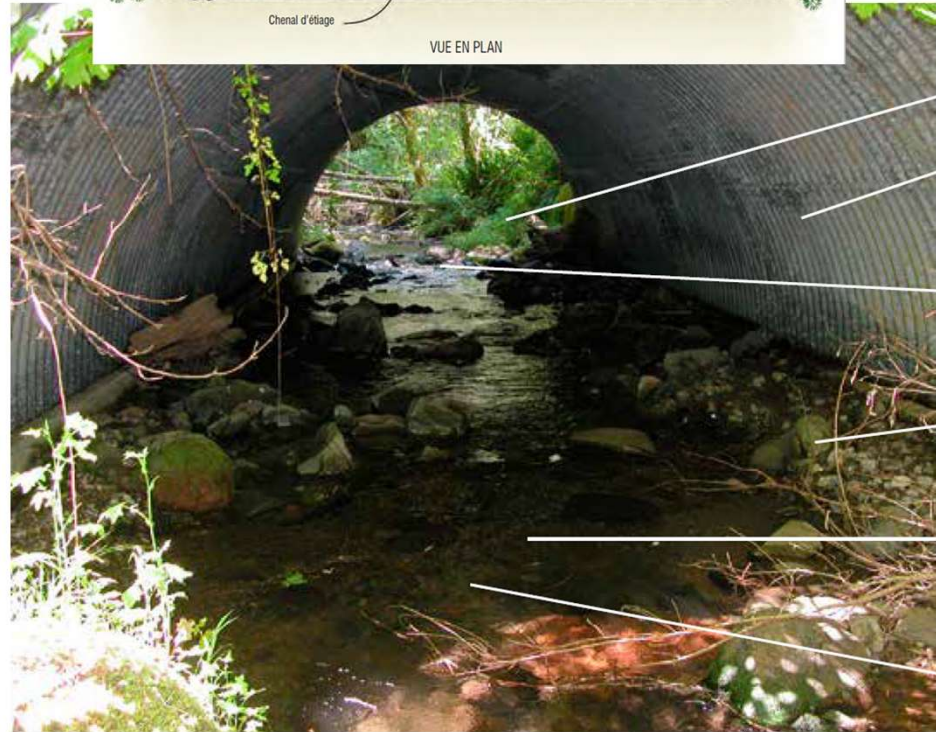
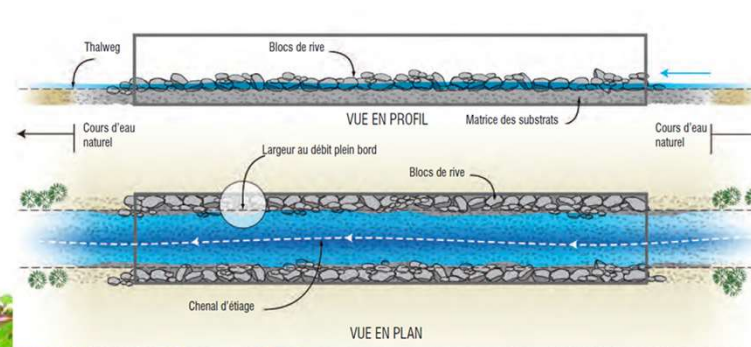
Criterio de diseño ambiental:

Mimetizar lo más fielmente posible la ODT con el curso natural.

- Más ancha que el cauce natural adyacente, con paso seco para caudales ordinarios.
- Lecho natural continuo y dinámicamente estable.
- Morfología y perfiles longitudinal y transversal similares a los del curso natural.

Se complementa con verificación hidráulica:

- Requerimientos de las especies objetivo:
 - Para Q“bajos”: calado ODT > calado mínimo
 - Para Q“altos”: velocidad ODT < velocidad máxima
- Estabilidad del lecho para el caudal de proyecto.



A Well Designed Crossing

Large size suitable for handling high flows

Open-arch design preserves natural stream channel

Openness ratio greater than 0.5m, suitable for most settings

Crossing span helps maintain dry passage for wildlife

Water depth and velocity are comparable to conditions upstream and downstream

Natural substrates create good conditions for stream-dwelling animals

¿Cómo diseñar ODT con criterios ambientales?

BOE

BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO

Núm. 60

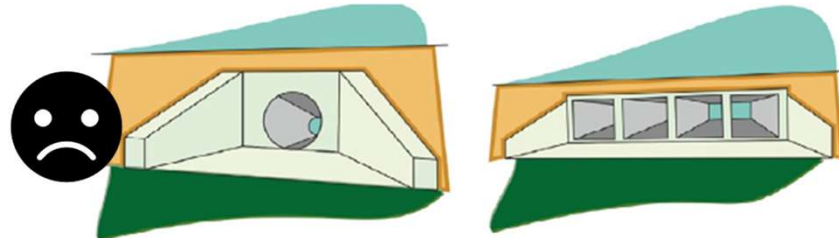
Jueves 10 de marzo de 2016

Sec.

I. DISPOSICIONES GENERALES

MINISTERIO DE FOMENTO

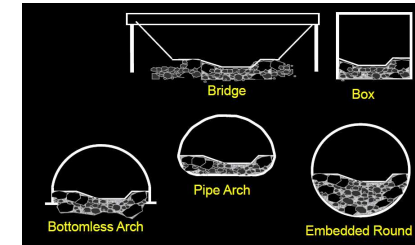
2405 Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras.



Embocadura de ODT tipo caño

ODT multicelular de sección rectangular tipo marco

FIGURA 4.1.- EJEMPLOS DE PUENTES Y ODT

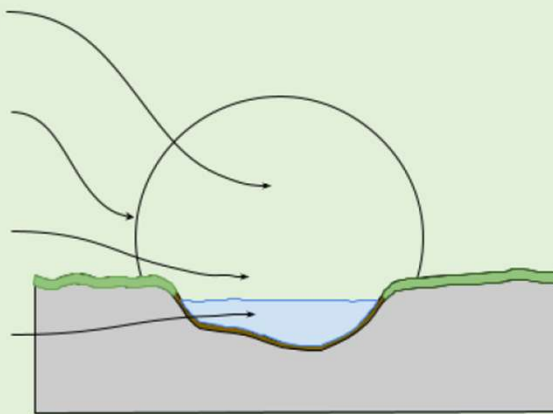


Large size suitable for high flows

Open-bottom design retains natural stream channel and substrates

Spans the stream and banks

Water depth and velocity are comparable to upstream and downstream conditions



Recommendations for Aquatic Organism Passage at Maryland Road-Stream Crossings. 2021

¡Un cambio de concepto radical!

¿Cómo diseñar ODT con criterios ambientales?

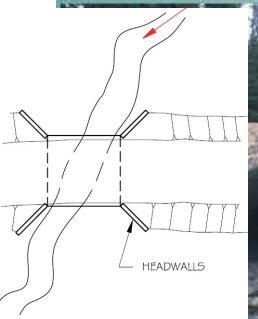
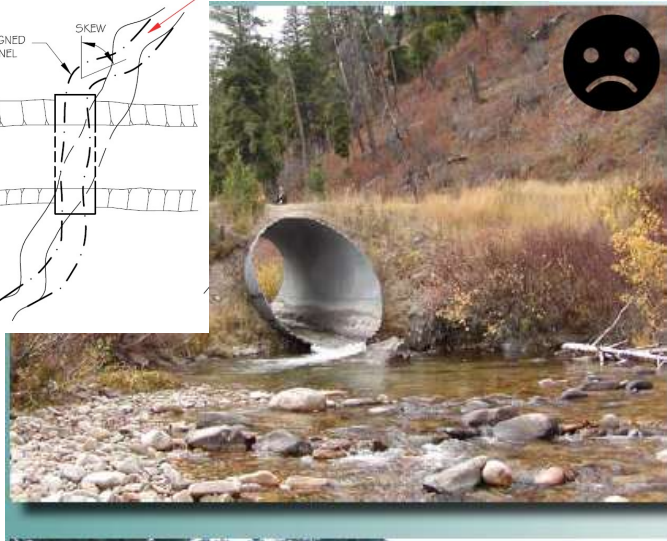
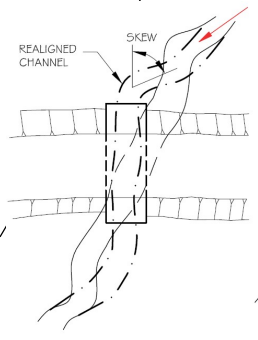


Figure 3.1—Roaring River crossing site before-and-after culvert replacement in 2007, Boise National Forest, Idaho.



AHORA UN PASO IMPORTANTE:

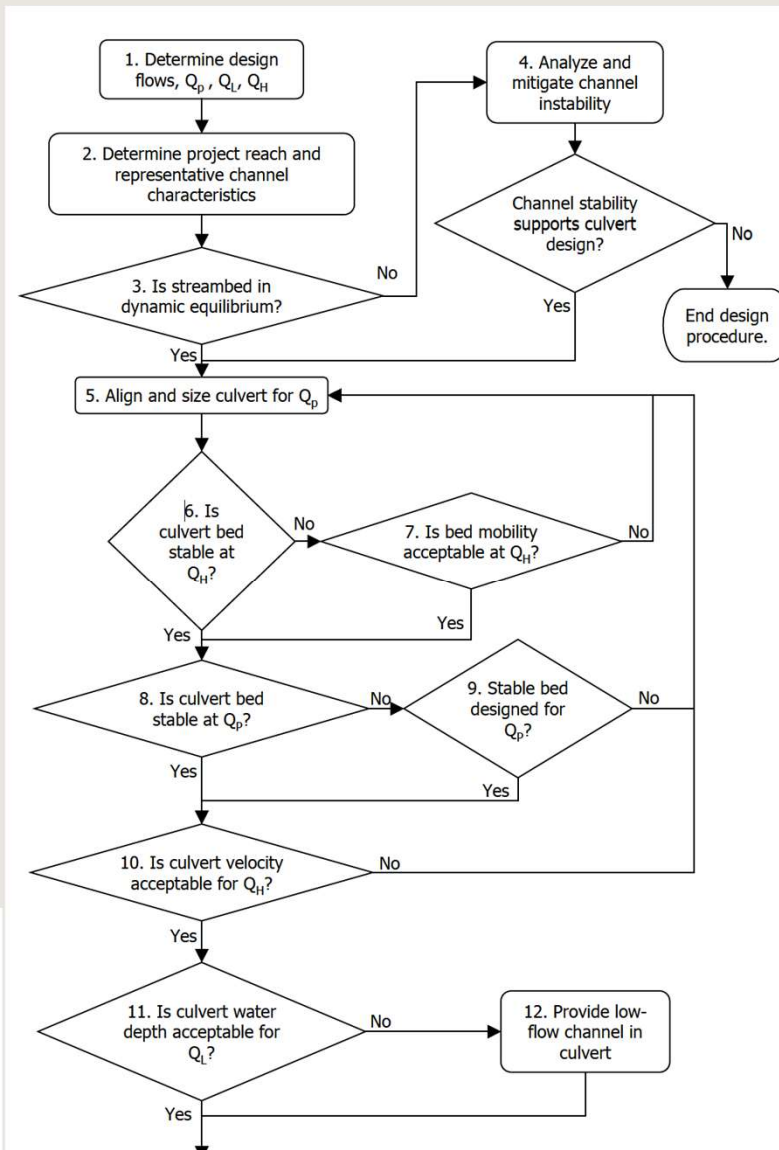
DE ¿CÓMO DISEÑAR ODT CON
CRITERIOS AMBIENTALES?

A ¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON
CRITERIOS AMBIENTALES?



- Transitabilidad biota
- Transitabilidad sedimentos y restos vegetales
- Mantener dinámica geomorfológica: Planta y secciones transversales y longitudinales

¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?



1. Estimar los caudales a considerar para el dimensionado

- Q_p = caudal de proyecto (T=100 años)
- Q_L = caudal de aguas bajas para el periodo de migración prerreproductiva de la especie objetivo
- Q_H = caudal de aguas altas para el periodo de migración prerreproductiva de la especie objetivo

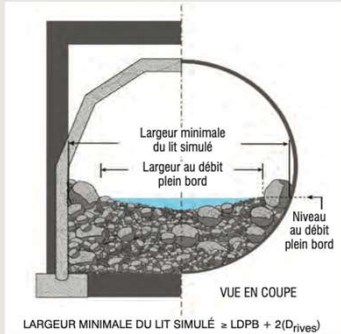
2. Caracterizar el tramo donde se situará la ODT y evaluar su equilibrio dinámico

3. Predimensionar la ODT

4. Verificar la estabilidad del lecho

5. Verificar la transitabilidad de la ictiofauna para Q_L y Q_H

¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?



Mimetizar lo más fielmente posible la ODT con el curso natural.



1. Caracterizar en campo el cauce (anchura; pendiente; lecho...) y evaluar su equilibrio dinámico
2. Estimar los caudales de diseño considerando funcionalidad viaria y ambiental
 - a) Caudal de proyecto según norma 5.2-IC (Q_p)
 - b) Especies objetivo:
 - Requisitos de transitabilidad -calado mínimo ($y_{\min}$) y velocidad máxima ($v_{\max}$)-
 - Periodo prerreproductivo -u otro periodo de funcionalidad-
 - Definir los caudales de aguas altas (Q_H) y bajas (Q_L) [p.e. caudales para los percentiles de excedencia del 10% y 90%. Con ese criterio se garantiza la transitabilidad para el 80% del periodo considerado]
3. Dimensionado ambiental
 - 3.0 Criterios de aplicación
 - 3.1 Geometría en planta, sección y perfil longitudinal
 - 3.2 Seleccionar el marco
 - 3.3 Establecer espesor del lecho
 - 3.4 Dimensionar el cauce de aguas bajas
 - 3.5 Comprobar la condición de calado mínimo: cuando el calado en el cauce de aguas bajas es $y_{\min}$ se debe cumplir que $Q(y_{\min}) \leq Q_L$
 - 3.6 Comprobar la condición de velocidad máxima: cuando el caudal que circula por la ODT es Q_H se debe cumplir que $v \leq v_{\max}$
4. Comprobar norma 5.2-IC para Q_p
5. Comprobar la estabilidad del lecho para Q_p

¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

1. CARACTERIZAR EN CAMPO EL CAUCE:

❑ Anchura

- $Anch_{BF}$ = Anchura del bankfull o de cauce lleno (m)
 - Para su determinación en campo se recomienda utilizar los criterios propuestos en [1] y [2].
- $Anch_{CA}$ = Anchura del cauce activo (m)
 - Se entiende por cauce activo el que muestra signos de dinámica sedimentaria: barras, vegetación riparia pionera y reciente, depósitos o erosiones recientes...
- Es preferible utilizar el criterio de bankfull



Tomada de : Gubernick R. 2022

❑ Pendiente

- Pte= Pendiente del lecho original (m/m)
 - Como los valores son bajos –habitualmente se expresan en tanto por mil-, la estimación de la pendiente del cauce debe hacerse considerando una longitud mínima de entre 100 y 200m, estacionando nivel y mira en puntos homólogos de la sección –por ejemplo, el thalweg-.
 - Es muy recomendable hacer varias mediciones con distintas distancias –dentro del rango propuesto-, para así tener información con la que poder establecer una pendiente representativa del tramo.



[1] https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/413.pdf

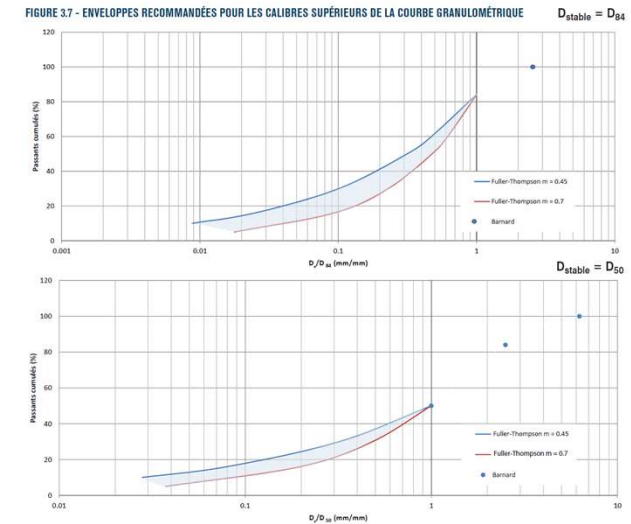
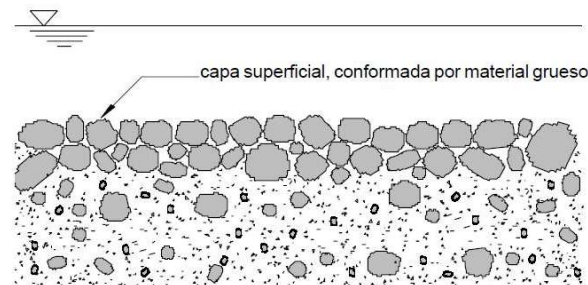
[2] https://www.dirtandgravel.psu.edu/sites/default/files/PA%20Program%20Resources/Program%20Specific%20Resources/Reference%20Material/Bankfull_Guidance.pdf

¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

1. CARACTERIZAR EN CAMPO EL CAUCE:

□ Lecho

- Considerar una longitud del cauce de, al menos, 20 veces su anchura. Tras su inspección, seleccionar un tramo representativo de las características granulométricas observadas
- Para establecer la superficie de muestreo, el número de elementos a medir y el tratamiento de los datos, es recomendable utilizar [1] y [2].
- Determinar el diámetro máximo del material del lecho - $D_{\max}$ (m)- y un diámetro con el que asignar una rugosidad (n de Manning).
- Evaluar la existencia de acorazamiento.



[1] <https://www.fs.usda.gov/biology/nsaec/assets/rmrs-gtr-74samplingsurfandsubsurfpartsdist.pdf>

[2] https://www.foretrivee.ca/wp-content/uploads/2016/05/Lignes_dir_traversees_QC_2016-MPO.pdf

¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

1. CARACTERIZAR EN CAMPO EL CAUCE

❑ Evaluar el equilibrio dinámico del tramo donde se situará la ODT

- ✓ Si el tramo donde se situará la ODT no está en equilibrio dinámico, es recomendable replantear el punto de cruce del arroyo.
- ✓ Si no es posible el cambio, considerar ODT muy amplias que permitan acoger los cambios morfológicos.

En *Culvert desing for aquatic organism passage (2010)* se pueden encontrar criterios para identificar signos de desequilibrio. A continuación, se indican los dos más frecuentes:

- **Perfil longitudinal: Degradación del cauce por incisión**
 - “Escalones” bien definidos, con taludes prácticamente verticales.
 - En general, la erosión tiene un carácter remontante.
- **Sección transversal: Inestabilidad/erosión de los taludes de orilla**
 - Orillas con pendientes pronunciadas, superficie “fresca” sin vegetación leñosa, barras recién formadas inmediatamente aguas abajo de la zona erosionada y pozas de socavación al pie.
 - Es frecuente la presencia de pies caídos, bloques desprendidos y grietas de tracción a lo largo de la cabeza del talud de orilla.



Publication No. FHWA-HIF-11-008
October 2010

U.S. Department of Transportation
Federal Highway Administration

Hydraulic Engineering Circular No. 26, First Edition

CULVERT DESIGN FOR AQUATIC ORGANISM PASSAGE

<https://www.spa.usace.army.mil/Portals/16/docs/civilworks/regulatory/Stream%20Information%20and%20Management/FHA%20Culvert%20Design%20for%20Aquatic%20Organism%20Passage.pdf>



¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

2. ESTIMAR LOS CAUDALES A CONSIDERAR PARA EL DIMENSIONADO:

- ① Funcionalidad viaria
- ② Integridad ambiental del curso de agua afectado

El proyecto debe contemplar:

- ① Los criterios hidráulicos que garanticen la **capacidad para evacuar el caudal de proyecto** (Norma 5.2-IC): **T=100 años**

- *¿Tiene sentido exigir un caudal de proyecto de T=100 años cuando se trata de vías forestales, agropecuarias y/o de ocio?*
 - Si se asume un T=50 años la probabilidad de que ese caudal sea igualado o superado al menos una vez en 20 años es del 33%

RIESGO DE EXCEDENCIA (%) DURANTE LA VIDA ÚTIL PARA DIVERSOS PERIODOS DE RETORNO

Periodo de retorno (años)	Años de vida útil				
	10	20	25	50	100
10	65.13%	87.84%	92.82%	99.48%	99.99%
15	49.84%	74.84%	82.18%	96.82%	99.90%
20	40.13%	64.15%	72.26%	92.31%	99.41%
25	33.52%	55.80%	63.96%	87.01%	98.31%
50	18.29%	33.24%	39.65%	63.58%	86.74%
100	9.56%	18.21%	22.22%	39.50%	63.40%
500	1.98%	3.92%	4.88%	9.3%	18.14%
1000	1.00%	1.98%	2.47%	4.88%	9.52%
10000	0.10%	0.20%	0.25%	0.50%	0.75%

¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

2. ESTIMAR LOS CAUDALES A CONSIDERAR PARA EL DIMENSIONADO:

① Funcionalidad viaria

② Integridad ambiental del curso de agua afectado

El proyecto debe contemplar:

① Los criterios hidráulicos que garanticen la **capacidad para evacuar el caudal de proyecto** (Norma 5.2-IC): **T=100 años**

② Los criterios adicionales que garanticen la **conectividad para biota, sedimentos, GRV y también su compatibilidad con la dinámica morfológica.**

- Para la conectividad de la ictiofauna hay que considerar caudales altos y bajos HABITUALES durante el periodo de desplazamiento prerreproductivo.
- Se suelen establecer a partir de la curva de caudales clasificados del periodo prerreproductivo, considerando los percentiles de excedencia del 10% para caudales altos y 90% para los bajos.
- Para la conectividad de sedimentos y dinámica morfológica el caudal de referencia debe ser el de cauce lleno (bankfull). En este caso el periodo de retorno oscila entre 3 y 5 años.

Objetivos distintos...

- Caudales de proyecto **¡distintos!**
- Criterios de diseño y dimensionado **¡distintos!**



¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

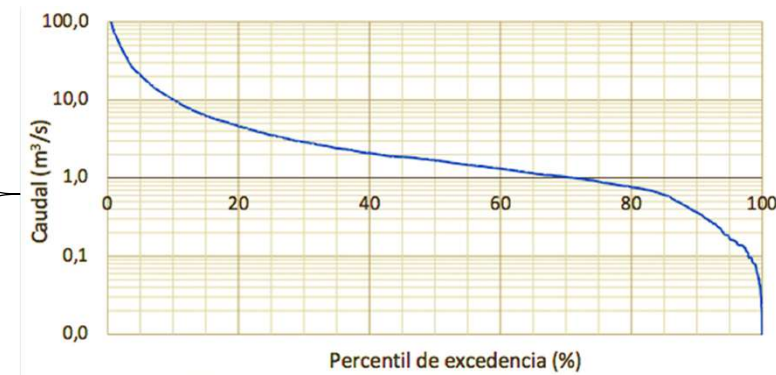
2. ESTIMAR LOS CAUDALES A CONSIDERAR PARA EL DIMENSIONADO:

- Q_p = caudal de proyecto (T=100 años o inferior)
 - ✓ Usar CAUMAX [<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/mapa-de-caudales-maximos.html>]
- Q_L = caudal de aguas bajas para el periodo de migración prerreproductiva de la especie objetivo Q(P90%)
- Q_H = caudal de aguas altas para el periodo de migración prerreproductiva de la especie objetivo Q(P10%)
 - ✓ Establecer especie(s) objetivo y el período a considerar para garantizar la transitabilidad
 - ✓ ¿Hay disponible una estación de aforo?
 - SI → Generar la curva de caudales clasificados para el periodo considerado y estimar Q(P90%) y Q(P10%)
 - NO → El tramo ¿tiene alteraciones significativas del régimen hidrológico?
 - NO → Usar serie de caudales mensuales de SIMPA para generar la curva de caudales clasificados para el periodo considerado y estimar Q(P90%) y Q(P10%)
 - SI → Usar los caudales ecológicos mínimos y de crecida establecidos en la normativa del Plan de cuenca



MANUAL DE USUARIO

CauMax



¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

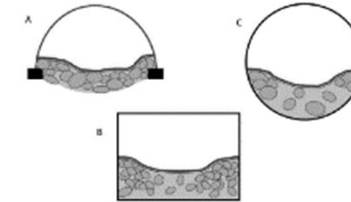
3. DIMENSIONAR

3.0 Criterios de aplicación

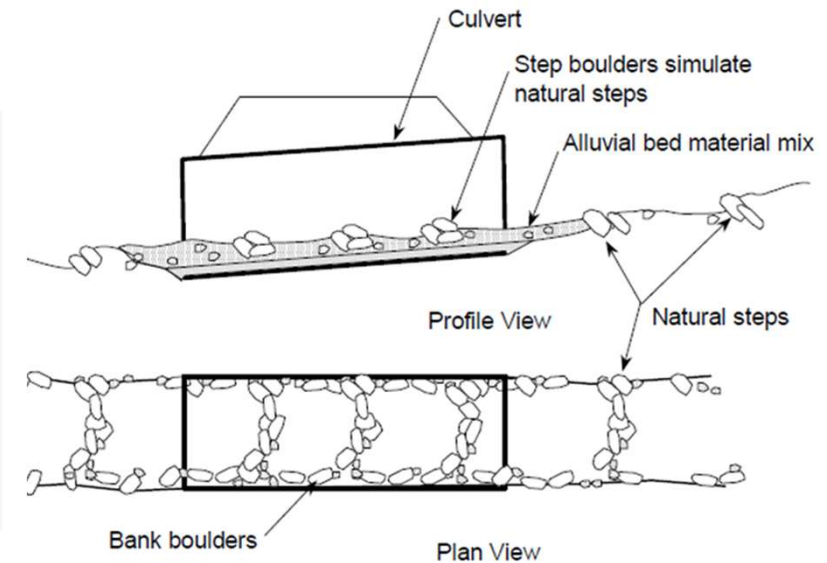
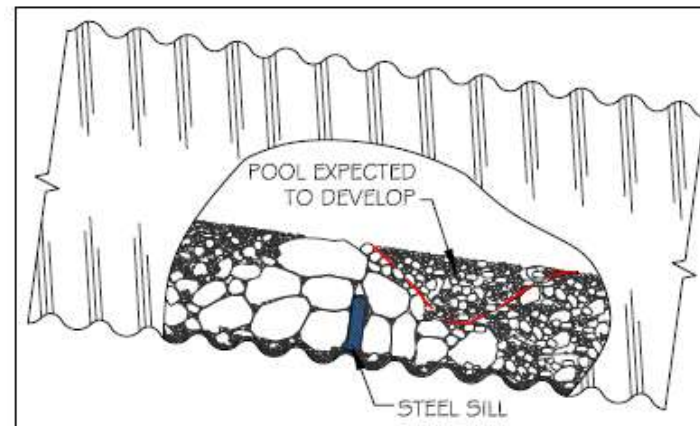
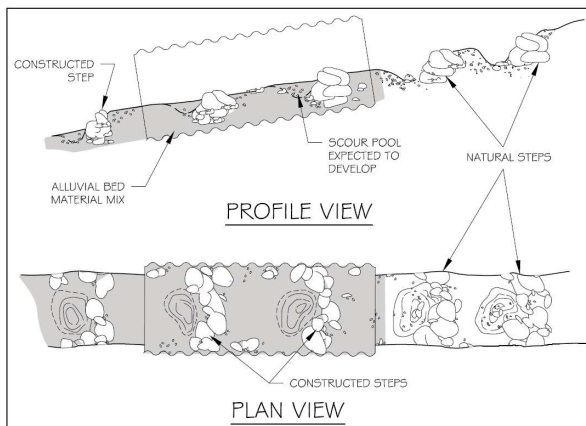
Aplicable para:

- Pendiente del cauce $\leq 3\%$
- Longitud ODT $< 30\text{m}$

Para pendientes importantes ($Pte > 3-4\%$), considerar la incorporación de formas de lecho asociadas a esas pendientes (p.e. salto-pozas)



Guidelines for the Design of Stream/Road Crossings for Passage of Aquatic Organisms in Vermont. 2009

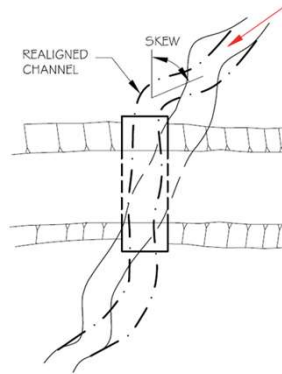


¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

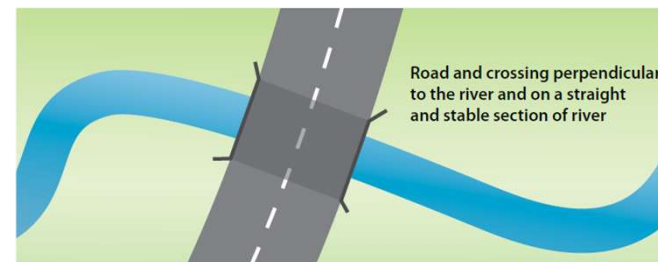
3. DIMENSIONAR LA ODT

3.1. Planta: La ODT debe estar alineada con la planta natural del arroyo para:

- ✓ Minimizar la alteración del curso del agua
- ✓ Garantizar la estabilidad de la ODT cuando se produzcan los movimientos en planta naturales del cauce
- ✓ Contribuir a mantener la conectividad para biota, sedimentos y restos vegetales.
- ✓ Reducir los costes de mantenimiento a lo largo de la vida útil de la obra.



Acceptable



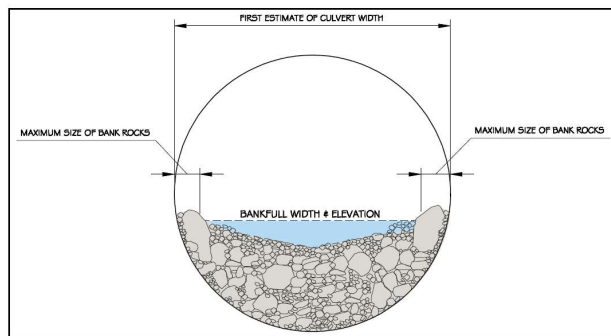
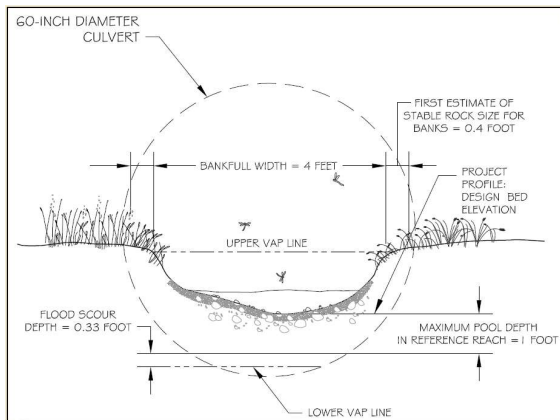
Ideal

¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

3. DIMENSIONAR

3.1. Sección y perfil longitudinal

- Más ancha que el cauce natural adyacente, con paso seco para caudales ordinarios.
- Lecho natural continuo y dinámicamente estable.
- Granulometría y perfiles longitudinal y transversal similares a los del curso natural.



Dimensionado ambiental: (Modificado de Bates, 2002. State of California. Resources Agency Department of Fish and Game)

- **Anchura ODT:**

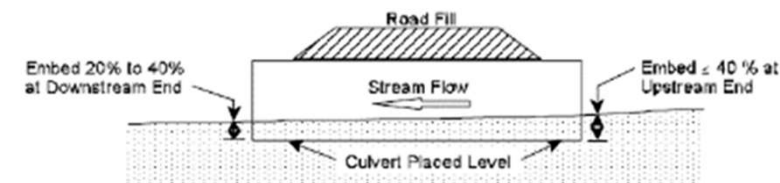
- ✓ $\geq 1,2 \times$ anchura de bankfull
- ✓ $\geq 1,5 \times$ ancho activo del cauce

- **Base ODT:**

- ✓ Pendiente nula (0%)
- ✓ Parcialmente enterrada en el lecho del río

- **Lecho en ODT:**

- ✓ Geometría y granulometría similar a la del cauce natural, conformando un cauce de aguas bajas.
- ✓ Espesor lecho en la sección de salida $\geq \text{MAX}(2 \times D_{\text{max}}; 20\% \text{ de la altura interior de la ODT})$
- ✓ Espesor lecho en la sección de entrada: Garantizar pendiente similar a la del cauce natural y no más de un 40% de la altura interior de la ODT
- ✓ Si hay coraza, asegurar que la capa superficial se repone con el mismo material y en esa misma situación.



¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

Un caso singular pero muy importante: ACORAZAMIENTO DEL LECHO

¿Cómo sabemos cuando un río tiene coraza?

- ✓ Presenta una capa superficial con clastos gruesos y granulometría homogénea.
- ✓ Inmediatamente debajo, la granulometría es mucho más heterogénea, con presencia de materiales mucho más finos.
- ✓ Es un proceso **natural**, que se presenta únicamente en ríos de gravas con granulometrías de lecho muy heterométricas

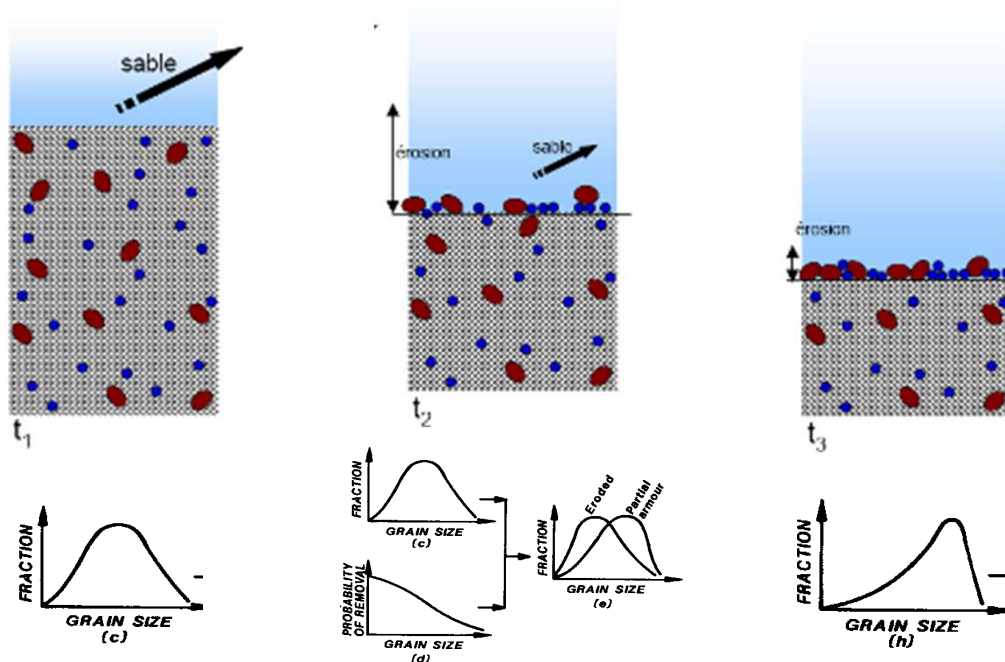


¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

Un caso singular pero muy importante: ACORAZAMIENTO DEL LECHO

¿Cómo se genera?

- T1: Cuando el lecho presenta el material heterométrico, las avenidas ordinarias se llevan los de granulometría más fina, dejando los más gruesos
- T2: Avenidas con mayores cortantes van eliminando los materiales de tamaño mediano.
- T3: Finalmente en la superficie quedan sólo los clastos de mayor tamaño; aquellos que las avenidas recientes más intensas no han sido capaces de movilizar. Debajo de esa “coraza” queda el material original.



¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?

Un caso singular pero muy importante: ACORAZAMIENTO DEL LECHO

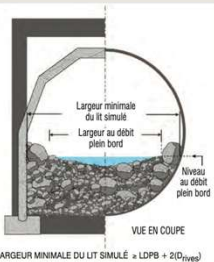
¿Cómo actuar durante la construcción?

- Retirar el material del cauce haciendo acopio por capas.
- Reponerlo sobre la ODT manteniendo la disposición original



Massachusetts Stream Crossings Handbook. 2010

¿CÓMO DIMENSIONAR ODT CON CRITERIOS AMBIENTALES?



1. Caracterizar en campo el cauce (anchura; pendiente; lecho...) y evaluar su equilibrio dinámico
2. Establecer los caudales de diseño considerando funcionalidad viaria y ambiental
 - a) Caudal de proyecto según norma 5.2-IC (Q_p)
 - b) Especies objetivo:
 - Requisitos de transitabilidad -calado mínimo (y_{min}) y velocidad máxima (v_{max})-
 - Periodo prerreproductivo -u otro periodo de funcionalidad- y definir los caudales de aguas altas (Q_H) y bajas (Q_L)
3. **Dimensionado ambiental**
 - 3.0 Criterios de aplicación
 - 3.1 Geometría en planta, sección y perfil longitudinal
 - 3.2 **Seleccionar el marco**
 - 3.3 **Establecer espesor del lecho**
 - 3.4 **Dimensionar el cauce de aguas bajas**
 - 3.5 **Comprobar la condición de calado mínimo: cuando el calado en el cauce de aguas bajas es y_{min} se debe cumplir que $Q(y_{min}) \leq Q_L$**
 - 3.6 **Comprobar la condición de velocidad máxima: cuando el caudal que circula por la ODT es Q_H se debe cumplir que $v \leq v_{max}$**
4. **Comprobar norma 5.2-IC para Q_p**
5. **Comprobar la estabilidad del lecho para Q_p**

Lo vemos con un
CASO PRÁCTICO





CASO PRÁCTICO: Datos

CAUCE:

$Anch_{BF}$ (Anchura de bankfull)= 2,3 m

Pte (Pendiente del lecho original)= 0,005 m/m

D_{max} (Diámetro máximo material del lecho)= 0,3 m

Información en anteproyecto: L(Longitud ODT)= 7,5 m

ESPECIE OBJETIVO:

Barbo común (*Luciobarbus bocagei* L.)

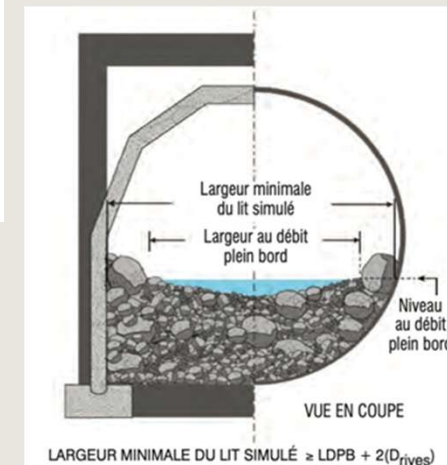
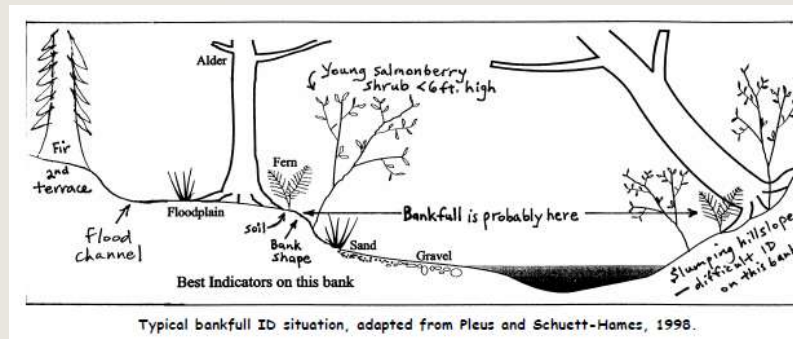
Calado mínimo (y_{min})= 0,25 m

Velocidad máxima (v_{max})= 1,8 m/s

Migración prerreproductiva: abril – junio

$Q_L[Q_{10\%}]$ = 0,3 m³/s

$Q_H[Q_{90\%}]$ = 3,2 m³/s



3.2 Seleccionar el marco

CASO PRÁCTICO

DATOS	
Dmax(m)= 0.3	Dmax= Diámetro máximo material del lecho
Pte(m/m)= 0.0050	Pte= Pendiente del lecho original
L(m)= 7.5	L= Longitud de la ODT
Anch _{BF} (m)= 2.3	Anch _{BF} = Anchura del bankfull o de cauce lleno

Geometría del marco

H(m)= 2
A(m)= 3
Lutil(m)= 2.00
Nº marcos= 4

Verificar valor min en Tb 4.1
A_{min}(m)= 2.76
Valor disponible en catálogo del fabricante
Introducir para que se cumpla LrealODT ≥ L

L_{ODT}(m)real= 8.00 LrealODT=Lútil marco * nº marcos ≥ L

1) Establecer la anchura: A(m)

i. $A(m) \geq 1,2 * Anch_{BF}(m)$ $A(m) \geq 1,5 * Anch_{CA}$

ii. Con el valor obtenido, seleccionar los marcos del catálogo que tienen esa dimensión igual o ligeramente superior.

2) Establecer la altura: H(m)

i. En la tabla 4.1, entrar con el valor de L (longitud de la obra de drenaje) y obtener D_L. Esa cifra indica el valor de H_{min}.

ii. De los marcos seleccionados en 1.ii, elegir el que tiene una H superior a H_{min}. (El marco irá parcialmente enterrado)

iii. Comprobar que con esa H se garantiza la cota de rasante establecida en el proyecto.

PREFABRICADOS
ALBERDI

A x H (cm)	Dintel (cm)	Lu (m)
100x100	14	1,465
120x120	16	1,465
150x200	20	2,000
200x100	18/16	2,000
200x150	20	2,000
200x200	20	2,000
200x250	20	1,650
200x300	20/25	2,000
200x400	25	1,500
250x200	20	1,650
250x250	25	2,000
250x300	20/25	1,900
250x400	25	1,400
300x200	25/20	2,000
300x250	20/25	1,900
300x300	25	1,500
400x200	25	1,500
400x250	25	1,400

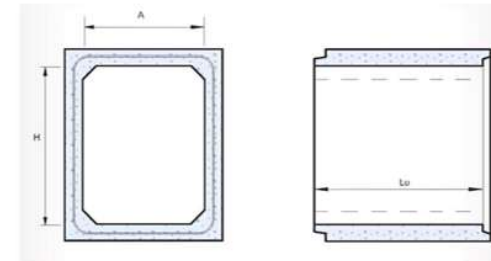


TABLA 4.1.- DIMENSIÓN MÍNIMA RECOMENDADA DE UNA ODT EN FUNCIÓN DE SU LONGITUD

L (m)	D _L (m)
L (m) < 3	D _L (m) ≥ 0,6
3 ≤ L (m) < 4	D _L (m) ≥ 0,8
4 ≤ L (m) < 5	D _L (m) ≥ 1,0
5 ≤ L (m) < 10	D _L (m) ≥ 1,2
10 ≤ L (m) < 15	D _L (m) ≥ 1,5
L (m) ≥ 15	D _L (m) ≥ 1,8

3.3 Establecer el espesor del lecho

CASO PRÁCTICO

DATOS:

$P_{te} (m/m) = 0,005$

$D_{max}(m) = 0,30$

$L_{real ODT}(m) = 8$

CONDICIONADO:

i. Espesor del lecho a la salida de la ODT:

$$EL_{salida}(m) \geq \text{Max}[2 * D_{max}(m); 0,2 * H(m)]$$

ii. Espesor del lecho a la entrada de la ODT:

$$EL_{entrada}(m) = EL_{salida}(m) + [L(m) * P_{te}(m/m)]$$

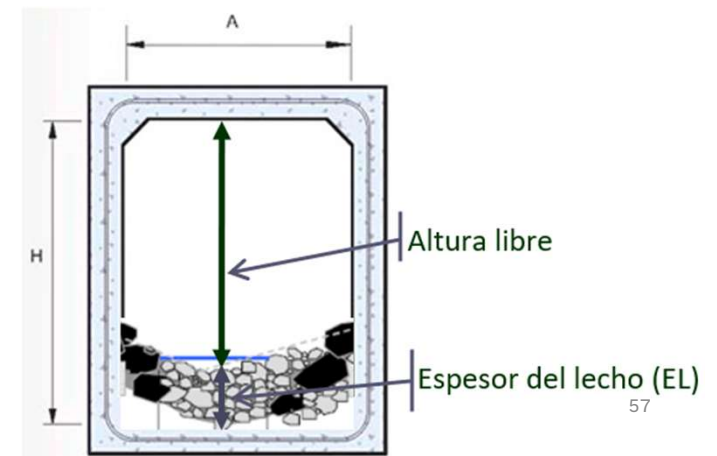
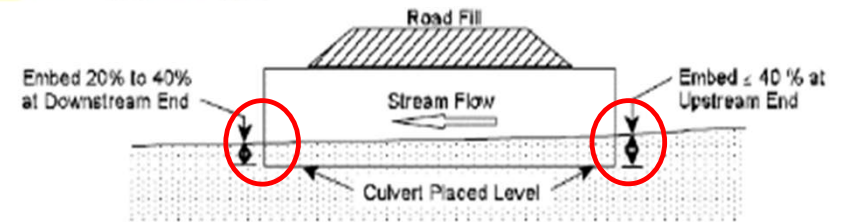
iii. Altura libre a la entrada de la ODT:

$$EL_{entrada}(m) \leq 0,4 * H(m)$$

RECUERDA:

- ✓ El marco se dispone con pendiente nula.
- ✓ Se repone el lecho con la pendiente original.
- ✓ Si se apreció acorazamiento, asegurar que la capa superficial se repone en esa misma situación.

Geometría del marco	
H(m)= 2	Verificar valor min en Tb 4.1
A(m)= 3	$A_{min}(m) = 2.76$
Lutil(m)= 2.00	Valor disponible en catálogo del fabricante
Nº marcos= 4	Introducir para que se cumpla $L_{realODT} \geq L$
$EL_{salida}(m) = 0.60$	$EL_{salida \text{ mínimo }}(m) = 0.6$
$L_{ODT}(m)_{real} = 8.00$	$L_{realODT} = L_{util \text{ marco }} * n^{\circ} \text{ marcos} \geq L$
$EL_{entrada}(m) = 0.64$	$\checkmark EL_{entrada} < 0,4 * H?$ SI
Altura libre entrada(m)= 1.36	Alt libre entrada = $Hm - EL_{entrada}$
Altura libre salida(m)= 1.40	Alt libre salida = $Hm - EL_{salida}$



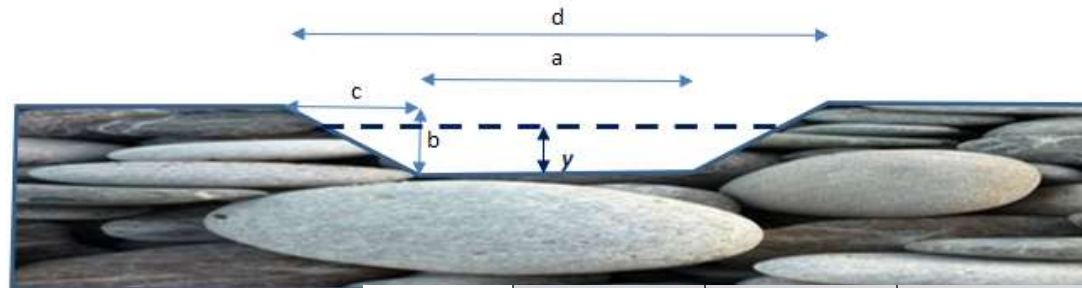
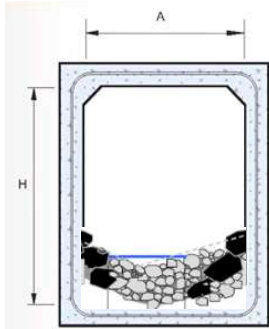
3.4 Dimensionar el cauce de aguas bajas

CASO PRÁCTICO

OBJETIVO: Cuando circule el caudal $Q(90\%)$ el calado en el cauce de aguas bajas debe ser mayor o igual al mínimo requerido por la especie objetivo ($y \geq y_{\min}$)

CRITERIOS PARA DIMENSIONADO AMBIENTAL:

GEOMETRÍA: Se considera una sección trapezoidal centrada en el marco para ofrecer dos vías de paso seco con aguas bajas.



Recomendaciones:	$0.2 \cdot A < a(m) < 0.4 \cdot A$		$b(m) \geq 1.5 \cdot y_{\min \text{ especie}}$	$c(m) \geq 1.5 \cdot b$
	0.6	1.2	0.38	
A(m)= 3 $y_{\min \text{ Barbo}} = 0,25\text{m}$				

Geometría del marco

H(m)= 2

A(m)= 3

DIMENSIONADO

Geometría cauce

a(m)= 0.9

b(m)= 0.4

c(m)= 0.8

d(m)= 2.5

c:b= 2.0

CUMPLE

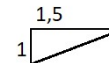
Dimensionado previo: ¡RECOMENDACIONES!

- i. Anchura en la base (a): se establece dentro de un rango proporcional a la anchura de la ODT.

$$0,2 \cdot A < a < 0,4 \cdot A$$

- ii. Altura (b) de, al menos, 1,5 veces el calado mínimo establecido para la especie objetivo.

$$b \geq 1,5 \cdot y_{\min}$$



- iii. Pendiente del talud menor o igual que 1V:1,5H

$$c/b \geq 1,5$$

RECOMENDACIONES

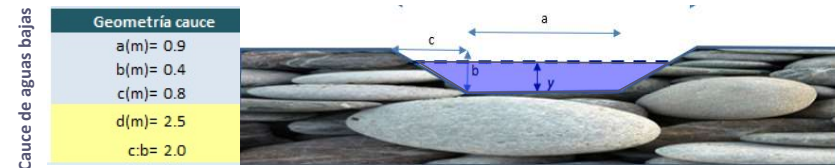
- iv. A la hora de asignar valores, no olvidar que son cifras que hay que establecer dentro de la ODT y con los materiales del lecho. En la práctica es recomendable plantear dimensiones en múltiplos de 5 centímetros.

3.5 Comprobar la condición de calado mínimo para Q_L

CASO PRÁCTICO

OBJETIVO: Verificar que cuando en el **cauce de aguas bajas** se presenta un **calado igual al mínimo** requerido por la especie ($y=y_{\min}$), el **caudal que circula es menor o igual que $Q(90\%)$** .

¡Se asegura que para $Q=Q(90\%)$ $y>y_{\min}$!



HIPÓTESIS DE CÁLCULO: El agua circula en **régimen uniforme** (calado normal)

Se aplica la ecuación de Manning, asumiendo que el calado es igual al mínimo para garantizar el tránsito de la especie objetivo ($y_{\min}=y$)

1. Para ese calado ($y_{\min}$), y con el dimensionado del cauce de aguas bajas, se calcula Sm , Pm y Rh

$$Sm = [a + (y_{\min} * c/b)] * y_{\min}; Pm = a + 2 * \sqrt{y_{\min}^2 + (y_{\min} * c/b)^2}; Rh = \frac{Sm}{Pm}$$

2. Con los valores obtenidos se calcula la velocidad

$$v = \frac{R_h^{2/3} * Pte^{1/2}}{n}; Pte = Pendiente del lecho; n = rugosidad del lecho$$

3. Con la velocidad y la superficie mojada se calcula el caudal $Q(y_{\min})=Sm*v$

4. El caudal así obtenido - $Q(y_{\min})$ - es el mínimo necesario para garantizar un calado en la ODT igual al mínimo necesario para el tránsito de la especie objetivo. **Si $Q(y_{\min})$ es menor o igual que $Q90\%$ se da por válido el dimensionado del cauce de aguas bajas.**

5. En caso contrario se **redimensiona el cauce de aguas bajas** y se vuelve a verificar su validez.

3.5 Comprobar la condición de calado mínimo para Q_L (Continuación)

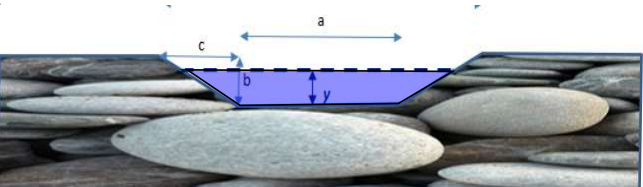
CASO PRÁCTICO



ESPECIE OBJETIVO:

- Barbo común (*Luciobarbus bocagei*)
- Calado mínimo (y_{min})= 0,25 m
- Velocidad máxima (v_{max})= 1,8 m/s
- Migración prerreproductiva: abril – junio
- $Q_{10\%}$ = 3,2 m³/s
- $Q_{90\%}$ = 0,3 m³/s

Cauce de aguas bajas	AGUAS BAJAS
	$Q_{90\%}(m^3/s)= 0.3$
	Geometría cauce
	a(m)= 0.9
	b(m)= 0.4
	c(m)= 0.8
	d(m)= 2.5
	c:b= 2.0



1. Para y_{min} , calcular Sm , Pm y Rh

$$Sm = \left[a + (y_{min} * c/b) \right] * y_{min}$$

$$Pm = a + 2 * \sqrt{y_{min}^2 + (y_{min} * c/b)^2}$$

$$Rh = \frac{Sm}{Pm}$$

2. Calcular la velocidad

$$v = \frac{R_h^{2/3} * Pte^{1/2}}{n};$$

3. Calcular el caudal

$$Q(y_{min})=Sm*v$$

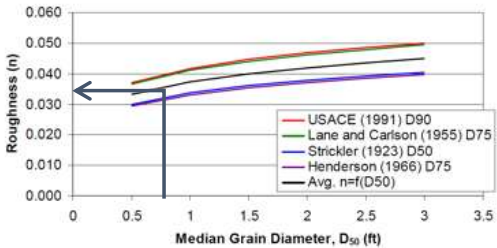
4. Comprobar $Q(y_{min}) \leq Q_{90\%}$

5. En caso contrario se redimensiona el cauce de aguas bajas y se vuelve a verificar su validez.

Calado normal $y(m)= 0.25$

Sección ENTRADA
GEOMETRÍA HIDRÁULICA
$Sm(m^2)= 0.35$
$Pm(m)= 2.02$
$Rh(m)= 0.17$
VARIABLES HIDRÁULICAS
$v(m/s)= 0.63$
$Q(m^3/s)= 0.22$
$F= 0.40$
CUMPLE

$n= 0,035$



$D(m)= 0.25$

Introducir el valor del tamaño representativo del material del lecho

$D(ft)= 0.82$

Con este valor, entrar en la gráfica y obtener una estimación de la rugosidad

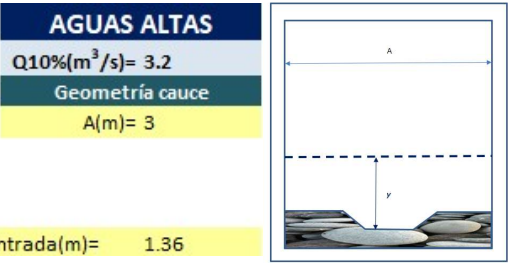
Estimación de “n” en cauces de gravas, cantos y/o bolos

3.6 Comprobar la condición de V_{MAX} para Q_H

CASO PRÁCTICO

ESPECIE OBJETIVO:

- Barbo común (*Luciobarbus bocagei*)
- Calado mínimo (y_{min})= **0,25 m**
- Velocidad máxima (v_{max})= **1,8 m/s**
- Migración prerreproductiva: abril – junio
- Q10%= **3,2 m³/s**
- Q90%= **0,3 m³/s**

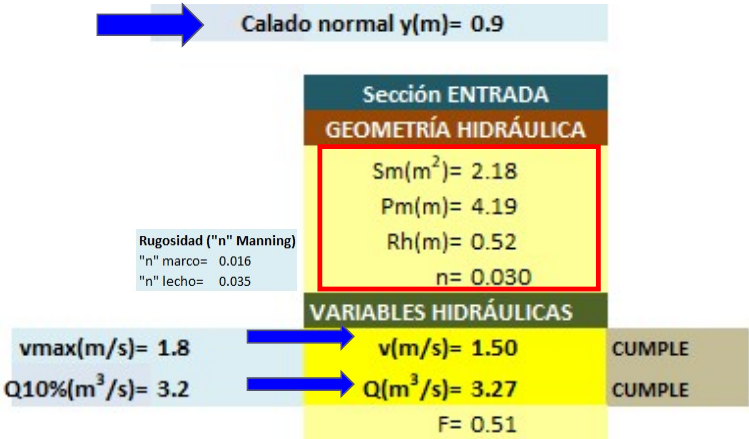


Altura libre entrada(m)= 1.36

OBJETIVO: Verificar que cuando por la ODT circula el caudal Q10%, la velocidad es menor o igual que la máxima admitida para el tránsito de la especie objetivo (v_{max}).

HIPÓTESIS DE CÁLCULO: El agua circula en régimen uniforme (calado normal)

1. Suponer un calado (y):
 - a) Calcular la superficie mojada, el perímetro mojado y el radio hidráulico
 - b) Estimar la velocidad (Manning) $v=Rh^{2/3} \cdot Pte^{1/2}/n$
La rugosidad de la sección se estima ponderando cada valor (lecho; paredes) por la longitud correspondiente.
2. Calcular $Q(y)= Sm \cdot v$
3. Repetir los pasos 1 y 2 hasta que $Q(y)$ sea igual o algo mayor que Q10%
4. Comprobar que la velocidad que corresponde a $Q(y)$ es menor o igual que v_{max}
5. Si no se cumple, redimensionar el marco y repetir todos los cálculos.



1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

Dimensionado ambiental:

1. $A(m) \geq 1,2 * Anch_{BF}$ ó $A(m) \geq 1,5 * Anch_{CA}$

2. H_{min} según criterio tabla 4.1 N5.2-IC.

3. El marco se dispone con pendiente nula.

4. Se repone el lecho con la pendiente original. Si se aprecia acorazamiento, asegurarse que la capa superficial se repone en esa misma situación.

5. $Espe\text{so}r\ lecho_{salida}(m) \geq \text{Max}[2 * D_{max}(m); 0,2 * H]$

6. $Espe\text{so}r\ lecho_{entrada}(m) = EL_{salida}(m) + [L(m) * Pte_{original}(m/m)] \leq 0.4 * H$

A

H

Altura libre

Espe\text{so}r del lecho

DATOS

$D_{max}(m) = 0.3$

$Pte(m/m) = 0.005$

$L(m) = 7.5$

$Anch_{BF}(m) = 2.3$

$Anch_{CA}(m) =$

D_{max} = Diámetro máximo material del lecho

Pte = Pendiente del lecho original

L = Longitud de la ODT

$Anch_{BF}$ = Anchura del bankfull o de cauce lleno

$Anch_{CA}$ = Anchura del cauce activo

El usuario debe introducir los valores en las celdas con este color

En este color la hoja de cálculo ofrece valores para condiciones mínimas

RESULTADOS

Geometría del marco

$H(m) = 2$

$A(m) = 3$

$L_{util}(m) = 2.00$

$N^{\circ} \text{marcos} = 4$

$EL_{salida}(m) = 0.60$

$L_{ODT}(m)_{real} = 8.00$

$EL_{entrada}(m) = 0.64$

$Altura\ libre_{entrada}(m) = 1.36$

$Altura\ libre_{salida}(m) = 1.40$

$Verificar\ valor\ min\ en\ Tb\ 4.1$

$A_{min}(m) = 2.76$

Valor disponible en catálogo del fabricante

Introducir para que se cumpla $L_{realODT} \geq L$

$EL_{salida}\ minimo\ (m) = 0.6$

$L_{realODT} = L_{util\ marco} * n^{\circ} \text{marcos} \geq L$

$\text{¿}EL_{entrada} < 0,4 * H\text{?}$ SI

$Alt.\ libre_{entrada} = Hm - EL_{entrada}$

$Alt.\ libre_{salida} = Hm - EL_{salida}$

Marco

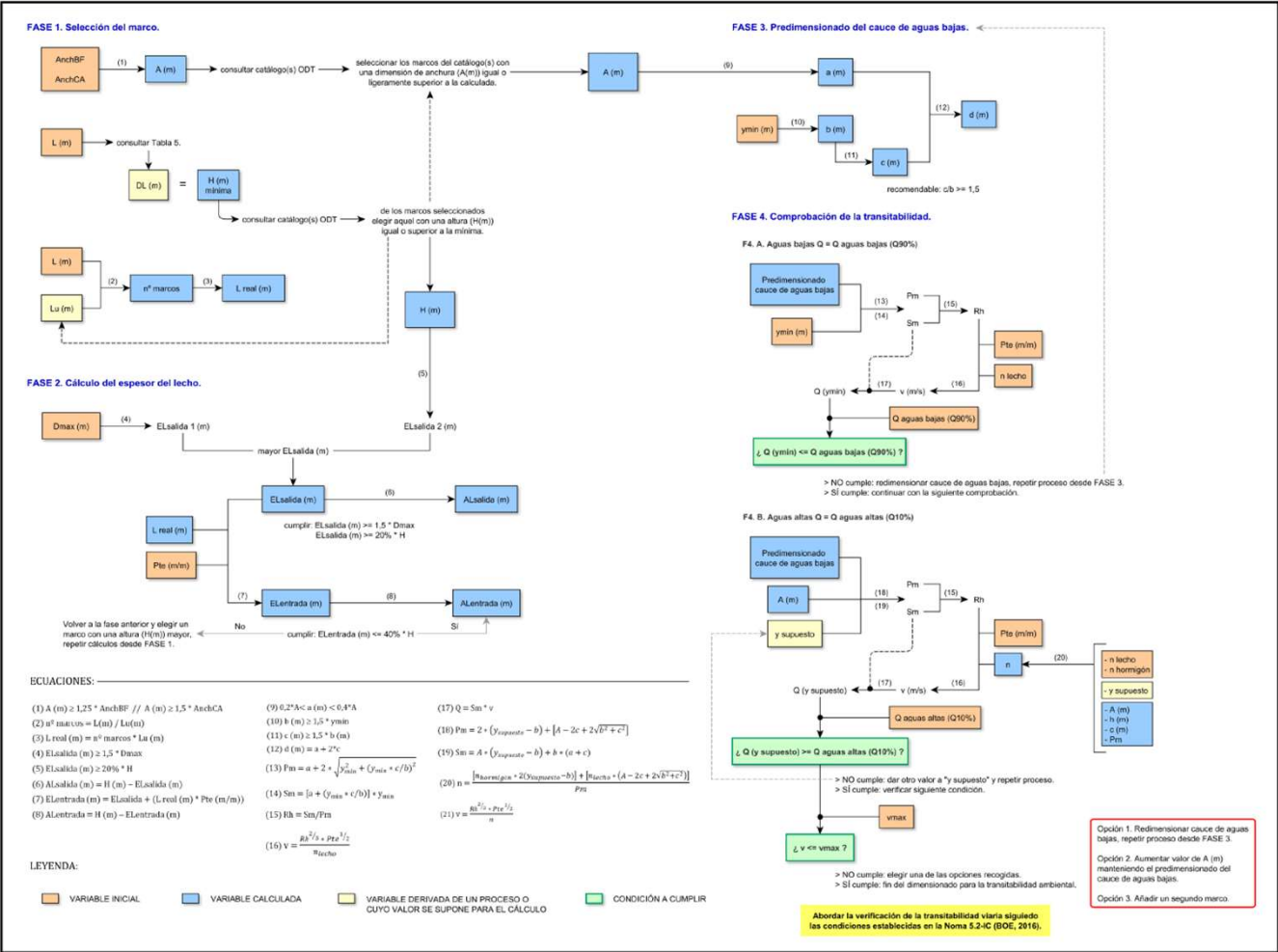
Transitabilidad

COMPLEMENTO: Libro excel

CASO PRÁCTICO

<

DIAGRAMA DE FLUJO DEL DIMENSIONADO AMBIENTAL DE UNA ODT



4. Comprobar condicionado Norma 5.2-IC para Q_p

CASO PRÁCTICO

... ¿y si no cumple con un marco?

- ✓ Disponer los necesarios, pero uno de ellos debe tener funcionalidad ambiental (Q_L ; Q_H).



- ✓ Los demás contribuirán a satisfacer los requisitos de evacuación del caudal de proyecto Q_H ($T=100$ años)



Engineering in the water environment: good practice guide. River crossings 2010



Culvert Design for Aquatic Organism Passage. 2010

NORMA 5.2-IC
DE LA INSTRUCCIÓN
DE CARRETERAS

DRENAJE SUPERFICIAL

TEXTO ACTUALIZADO
Última modificación: BOE del 5 de Junio de 2018



5. Comprobar la estabilidad del lecho para Qp

CASO PRÁCTICO

CRITERIO DEL CORTANTE CRÍTICO O DE INICIO DEL MOVIMIENTO:

El lecho es estable si: Cortante que ejerce el flujo < Cortante de inicio del movimiento del material del lecho (Cortante crítico)

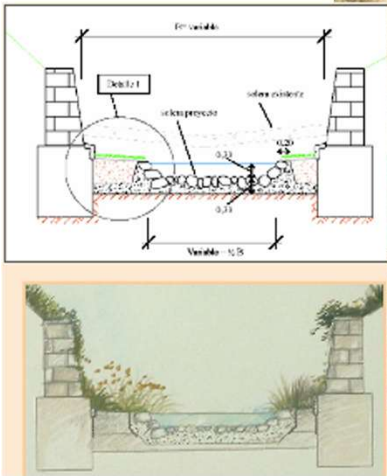
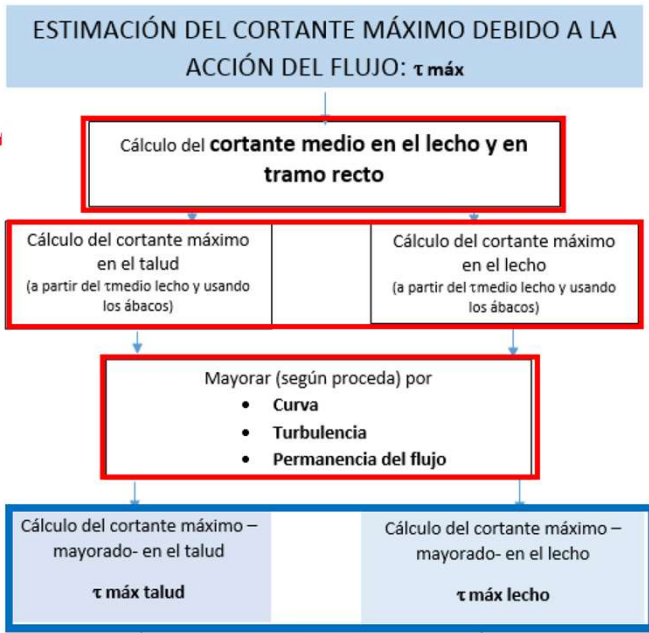
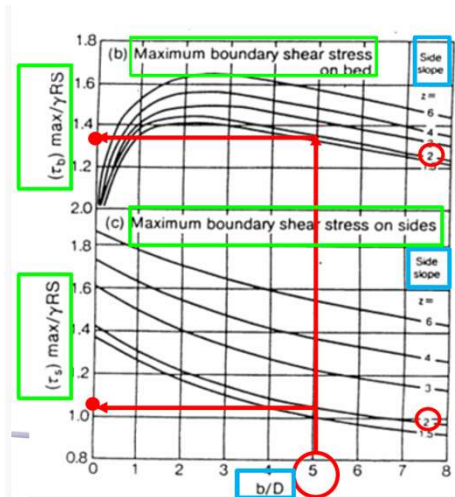
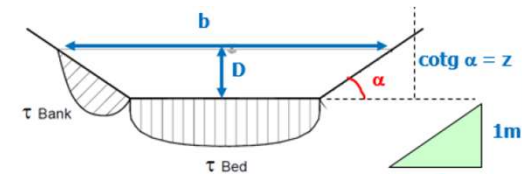
$$\tau_{\text{flujo}} \text{ (N/m}^2\text{)} = \gamma * R_H \text{ (m)} * S \text{ (m/m)} < \tau_{\text{crítico lecho}} \text{ (N/m}^2\text{)} = 728 * D \text{ (m)}$$

Depende de la geometría del cauce y del caudal circulante

γ = Peso específico de agua con sedimentos;
 R_H = Radio hidráulico;
 S = Pendiente de la línea de energía del flujo (≈ pendiente del cauce)

D = Diámetro del material del lecho

Si no cumple, plantear fijar el lecho con mortero, manteniendo las características granulométricas naturales de la capa superior



CASO PRÁCTICO



- ❑ La parte más compleja es recrear el lecho en el marco



- ❑ Con frecuencia no hay altura disponible para el empleo de maquinaria... ¿a mano?



- ❑ Otras alternativas:

- Antes de instalar cada módulo en la ubicación de la ODT, disponer el lecho natural recibiendo con mortero
- Usar marcos articulados, disponiendo el lecho natural antes de ensamblar la parte superior



Pero con eso de la funcionalidad ambiental,
las ODT... ¡serán mucho más caras!





RESEARCH

2009-20

Cost Analysis of Alternative Culvert Installation Practices in Minnesota

MESBOAC aims to match the culvert width with natural stream dimensions, while maintaining sediment balance (sediment in = sediment out). In addition to burying the culvert bottom below the streambed, it also provides a low-flow channel that is important for late season migrations which occur from August to November. MESBOAC has the advantage of not requiring analysis

Como promedio, el incremento de coste en la ejecución material es sólo del 10%

Table 4.4. Cost Comparison

Location	Culvert cost (dollars)		Difference	Difference as percent
	In-place	MESBOAC		
Aitkin (Snake R. Trib.)	32512.2	35429	2916.8	9
Cass (Leavitts Lake Channel)				
Cottonwood (So. F. Watonwan)	71795	74754	2959	4
Cottonwood (Unnamed)	73043.6	77423	4379.4	6
Fillmore (Donaldson Cr.)	167095.6	188604	21508.4	13
Fillmore (Duschee)	121885.4	123323.2	1437.8	1
Fillmore (Money Cr.)	83188	88942.4	5754.4	7
Jackson (Little Sioux)	81811.8	77894	-3917.8	5
Kandiyohi (CD27)	62914.6	78828.4	15913.8	25
Lincoln (Unnamed trib.)				
Lincoln (Yellow Medicine)				
Meeker (Unnamed)	29197	38920.4	9723.4	33
Mille Laes (Mike Drew)	39041.8	42084.6	3042.8	8
Mille Laes (Tibbets Brook)	20178.2	22370	2191.8	11
St. Louis (Stanley Creek)				



Flood Effects on Road-Stream Crossing Infrastructure: Economic and Ecological Benefits of Stream Simulation Designs

Gillespie N, Unthank A, Anderson P et al. See more
Fisheries (2014) 39(2) 62-76
DOI: 10.1080/03632415.2013.874527

Los costes de construcción de ODT diseñadas con criterios ambientales son ligeramente superiores (entre un 9 % y un 22 %), pero los costes del ciclo de vida son menores.

En los costes del ciclo de vida deben considerarse, además de los de construcción:

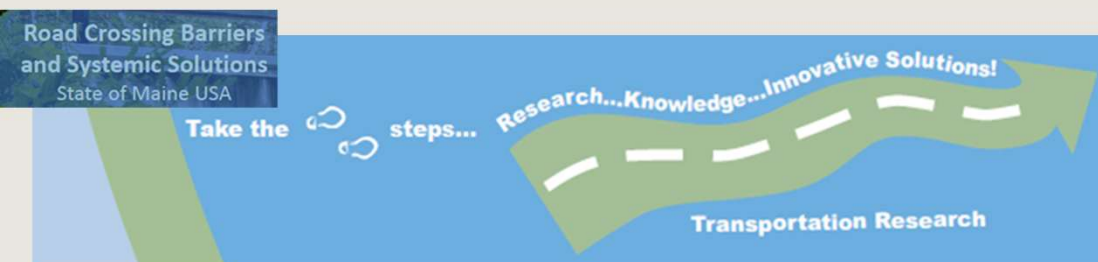
- Mantenimiento
- Reparación
- Interrupción del tráfico

Sabemos que las ODT deben dimensionarse considerando también criterios ambientales

Sabemos que hay criterios científico-técnicos que permiten diseñar y dimensionar con esos criterios

Sabemos que, considerando el ciclo de vida de las ODT, las construidas con criterios ambientales no son más caras

PERO ¿QUÉ PODEMOS HACER PARA QUE ESTO TRASCIENDA A LAS AUTORIDADES DE CARRETERAS E HIDRÁULICAS?

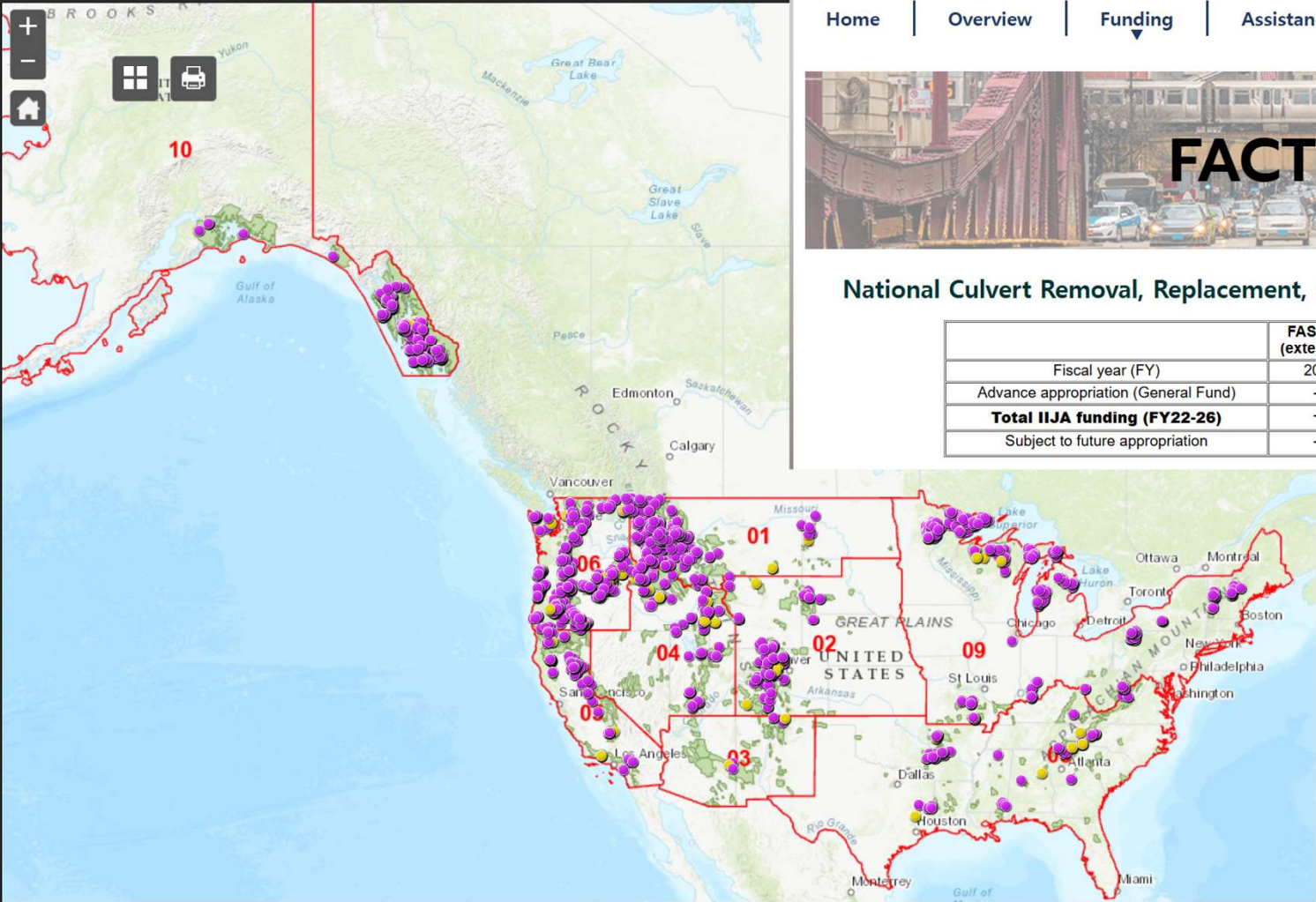


- ✓ Transmitir este mensaje
- ✓ Fomentar la publicación de guías y manuales
- ✓ Aprovechar oportunidades de financiación
- ✓ Generar ejemplos de buenas prácticas y difundirlos

ALGÚN DÍA PODREMOS TENER
EN ESPAÑA COSAS COMO ESTAS

Celebrating 1,000 Culverts - A Grand ReOpening for Fish

AOP Locations implemented across the U.S.



INFRASTRUCTURE INVESTMENT AND JOBS ACT

FHWA Home / Infrastructure Investment and Jobs Act / Fact Sheets / Culvert AOP Program

Home | Overview | Funding | Assistance / Local Support | Fact Sheets | Guidance / Regs

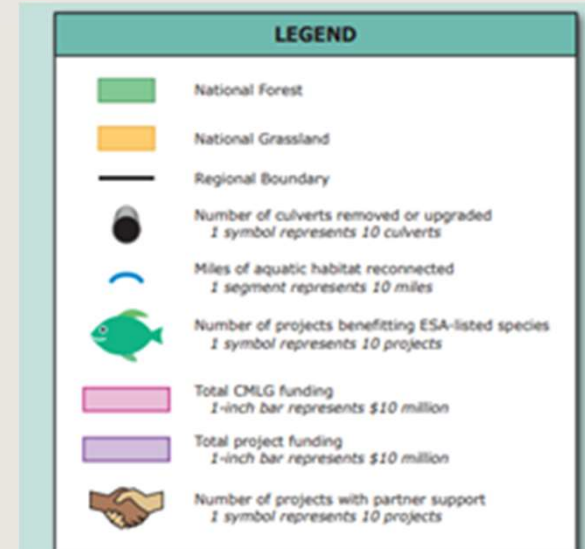
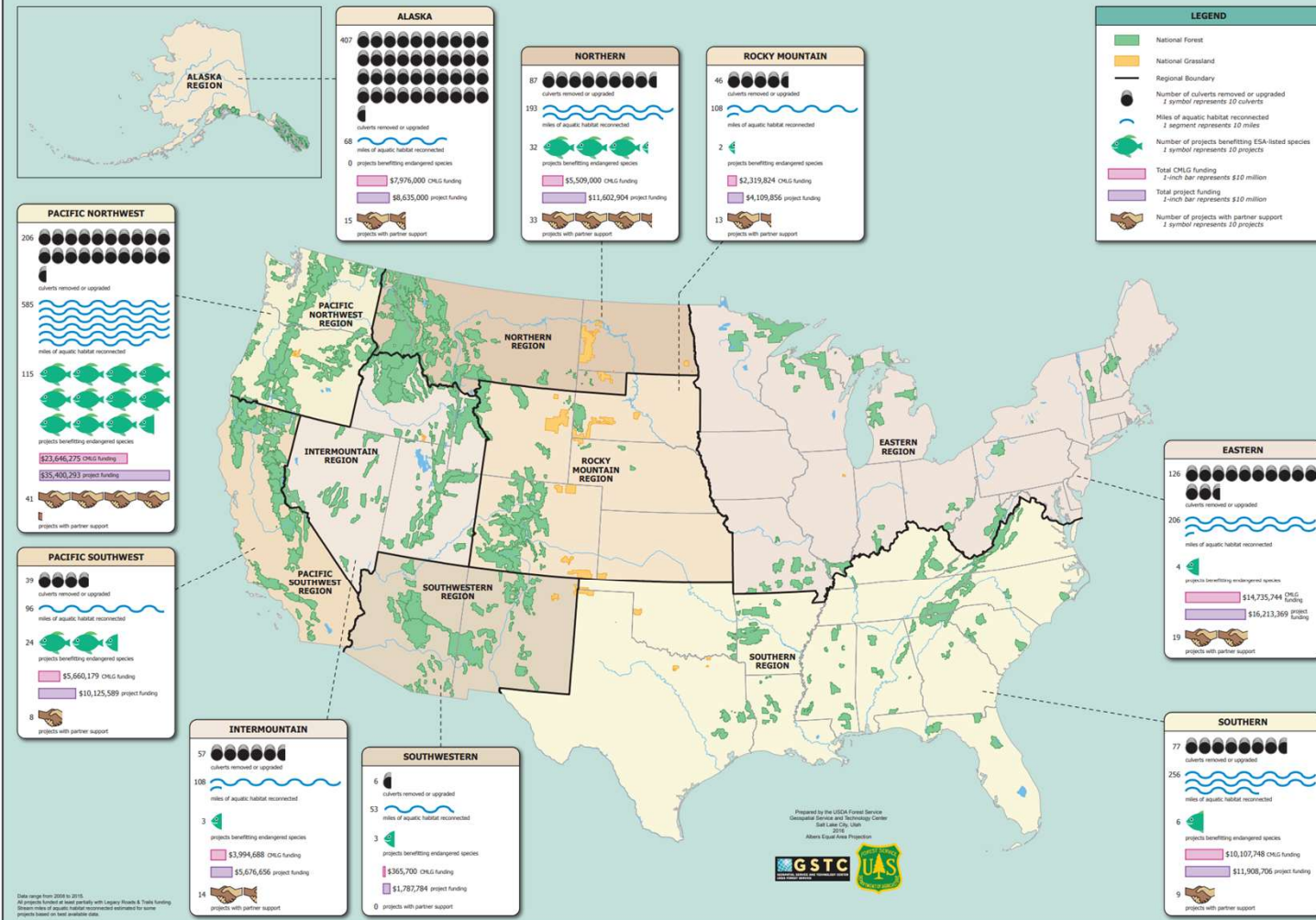


National Culvert Removal, Replacement, and Restoration Grants (Culvert AOP Program¹)

	FAST Act (extension)	Infrastructure Investment and Jobs Act (IIJA)				
Fiscal year (FY)	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Advance appropriation (General Fund)	---	\$200M	\$200M	\$200M	\$200M	\$200M
Total IIJA funding (FY22-26)	---	\$200M	\$200M	\$200M	\$200M	\$200M
Subject to future appropriation	---	\$800M*	\$800M	\$800M	\$800M	\$800M

ES MUY IMPORTANTE COMUNICAR!!!!

Culverts Removed or Upgraded for Aquatic Organism Passage with Legacy Roads and Trails Funding, by Forest Service Region



<http://usfs.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=c001b7d3212845129086ad7a88a6e775>



LA CONCLUSIÓN

Si tienes oportunidad ¡aplícalo!

- ✓ **No importa el tamaño** de la intervención
- ✓ **Busca apoyos** en la sociedad y en la administración
- ✓ En el proyecto, dedicar fondos para el **seguimiento y evaluación de resultados**: se aprende tanto de los aciertos como de los errores.
- ✓ **¡Difunde y visibiliza!** No hay mejor embajador que un buen ejemplo.
- ✓ Los primeros pasos son siempre los que más cuestan... ¡y los más **necesarios**!

¿Quién dijo que esto era fácil?

¡ÁNIMO VALIENTE!



LA CONCLUSIÓN... CON UN EJEMPLO **ESPERANZADOR**

El caso de la demolición de azudes y pequeñas presas

2005



¡ÁNIMO VALIENTE!

Problemas, metodologías y soluciones para evitar que las obras de drenaje transversal (ODT) supongan una merma de la conectividad de agua, sedimentos y biota en nuestros ríos
Valladolid, 23 de octubre de 2025

**CONECTIVIDAD LONGITUDINAL Y
OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL:
¡ÁNIMO VALIENTES!**

José Anastasio Fernández Yuste
Carolina Martínez Santa-María
E.T.S.I. MONTES, FORESTAL
Y DEL MEDIO NATURAL

