



SEMINARIO DE HIDRÁULICA DE PUENTES

Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica

28 de Octubre – Clase 4b: Monitoreo de la Erosión y Socavación



Ing. Adolfo Guitelman
Ing. Agustín Rigou



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

MONITOREO DE LA EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN EN PUENTES





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

INTRODUCCIÓN:

Superadas las etapas de diseño y construcción de un puente sobre una vía fluvial, comienza otra , de tanta o mayor importancia que las dos anteriores, la de control y mantenimiento del puente durante su vida útil.

El control y mantenimiento de un puente puede enfocarse desde diferentes aspectos, los mas conocidos y predecibles: estado estructural, estado de calzada, señalización, seguridad vial, etc.

Sin embargo, aunque todos estos aspectos hacen un buen funcionamiento de la vía, estadísticamente no son los causantes de la mayor cantidad de colapsos de puentes, cuya grave consecuencia es la interrupción de la vía de comunicación, cuya recuperación conlleva una alta inversión económica y mayores tiempos de restauración de la vía, que los problemas causados por una falla en la calzada, restauración de señalización, etc.

Estadísticamente, la causa mas importante en el colapso de puentes, es la acción HIDRICA, que en la mayoría de los casos es un fenómenos recurrente y progresivo, por lo que debemos avocar nuestros esfuerzos en realizar PREVENCIÓN, y esto se logra con un seguimiento temporal periódico de las condiciones en las que se encuentra el puente en su lugar de implantación y sus alrededores, es decir un MONITOREO que nos permita ver la historia de las modificaciones de las condiciones del diseño del puente, y con un análisis tomar las decisiones necesarias para un correcto MANTENIMIENTO o en el peor de los casos, elegir las medidas correctivas que eviten el colapso.

Los principales problemas hídricos que afectan a los puentes son la erosión (general o localizada en pilas y/o estribos) y la sedimentación en la luz del puente. El primero de ellos desestabiliza la fundación del puente provocando el colapso de la vía. Lo mismo ocurre con la sedimentación, pero en forma indirecta, puesto que los sedimentos disminuyen el área de paso del flujo, que en posteriores crecidas buscara su camino por sobre el propio puente.

Estudios recientes en Europa y en Estados Unidos, distribuyen de la siguiente forma, las principales causas de falla de los puentes:



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

OBJETIVO

El Objetivo del presente trabajo es proponer una metodología de recopilación de datos, análisis, posterior clasificación y diagnóstico de los fenómenos erosivos y de sedimentación que pueden afectar frecuentemente a la mayoría de los puentes de luces moderadas, a los efectos de anticipar medidas terapéuticas cuando estas son aún aplicables para impedir el deterioro o la destrucción total de la obra.

Consideramos necesario que nuestro país desarrolle políticas propias que a nivel nacional permitan mitigar los efectos destructivos asociados a esta problemática.

DESARROLLO

La base fundamental sobre la que se estructura la propuesta es la materialización de una base de datos nacional de Puentes, que permita el acceso a la información relevada, tanto de Gabinete como de Campo.

En este sentido, una vez, que la información se encuentre estructurada, permitirá el análisis de los fenómenos de erosión y sedimentación y la obtención de importantes conclusiones de los fenómenos relevados en campo.

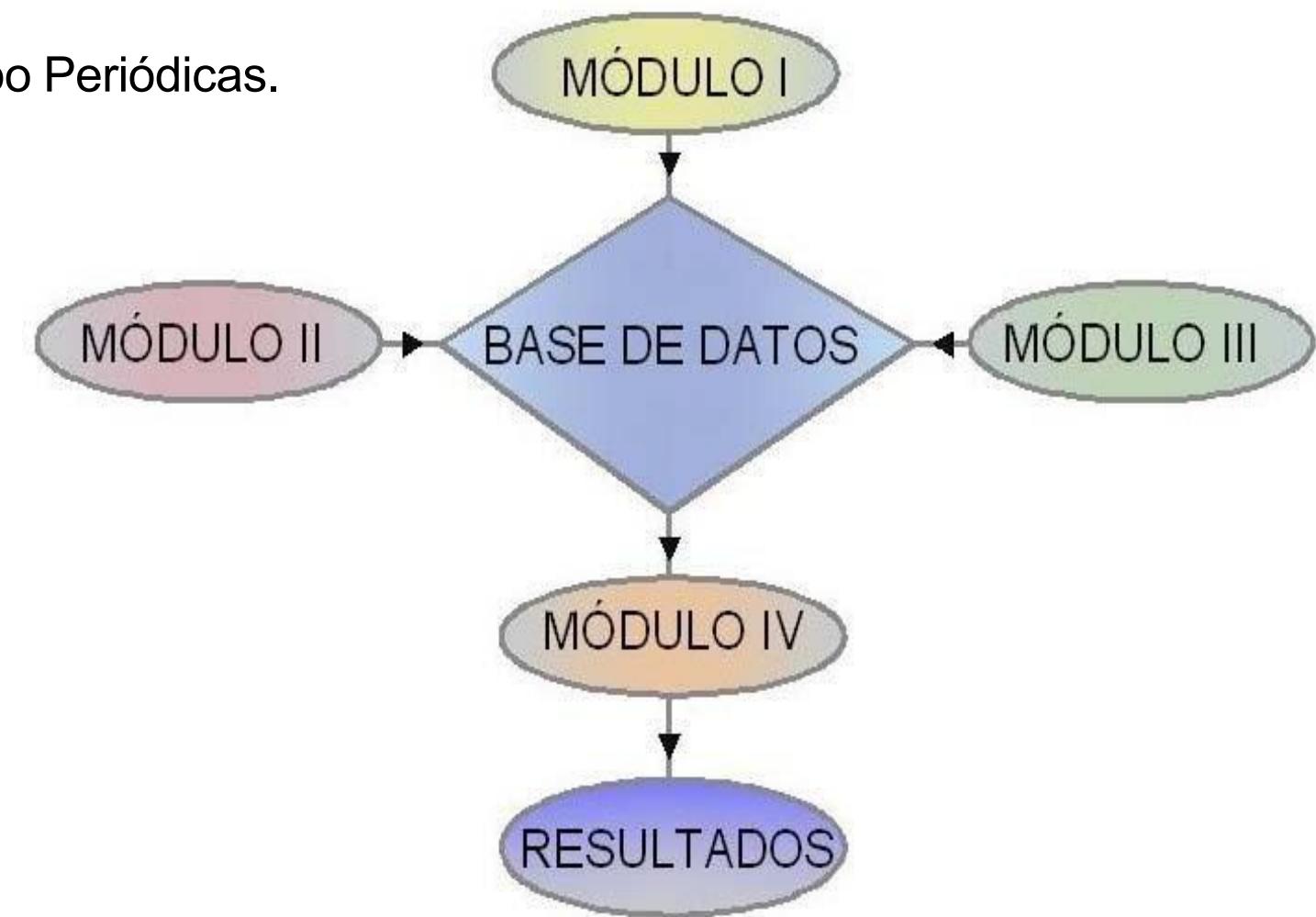
La base de datos de Puentes propuesta se constituye de cuatro modulos bien diferenciados:



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

- Módulo I: Entrada de Datos.
- Módulo II: Inspecciones y Relevamiento de Campo Periódicas.
- Módulo III: Graficación y Análisis.
- Módulo IV: Diagnóstico del Estado de Situación.

La interacción entre estos módulos es la siguiente:



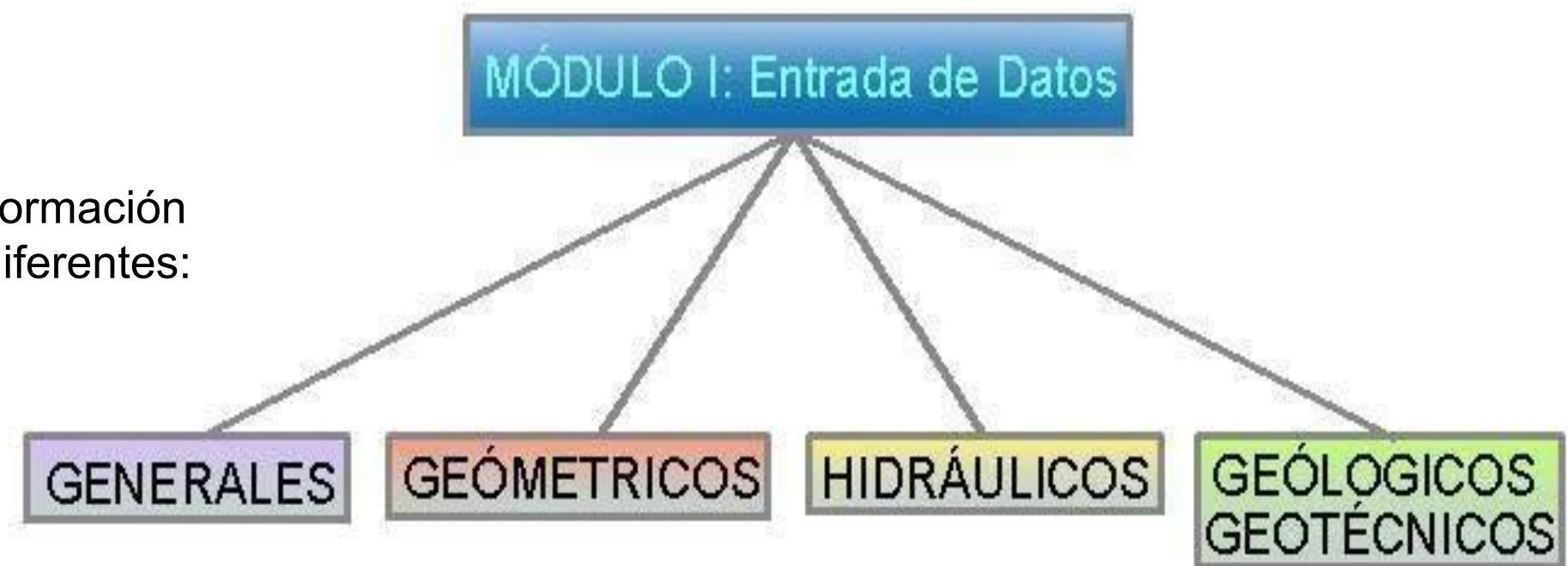
A continuación, se realizará una breve descripción de cada uno de los módulos.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

MÓDULO I

EL módulo I, se alimenta de información proveniente de cuatro fuentes diferentes:



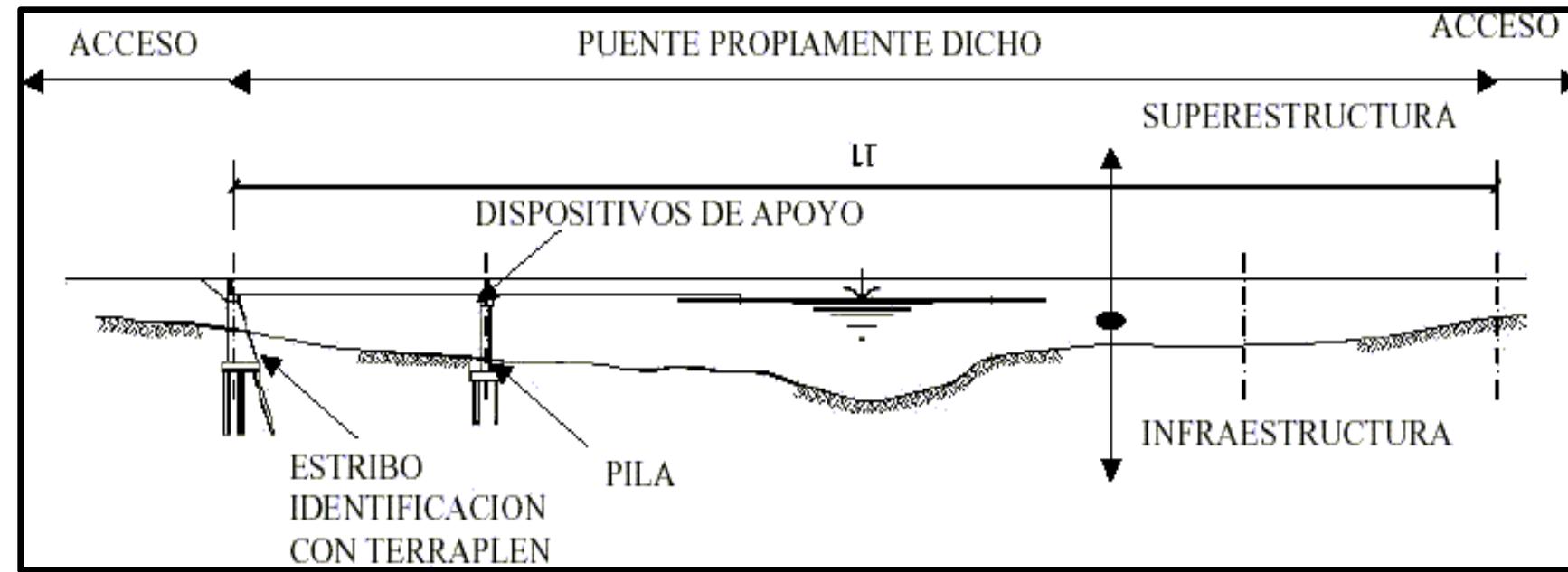
Datos GENERALES del puente: Hacen a la identificación de este. Se debe recabar la siguiente información:

- El nombre del puente en cuestión.
- La ubicación geográfica del mismo (provincia, localidad, partido, etc.), así como también las coordenadas en sistema Gauss-Kruger, con el fin de obtener información digital de la zona de entorno al mismo.
- La ubicación geográfica del mismo.
- El río o curso de agua que es atravesado por el puente.
- Los responsables de la obra: director del proyecto, director de obra, etc.
- La jurisdicción que le corresponde el puente: DNV, vialidades provinciales, intendencia, municipio, etc.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

Datos GEOMÉTRICOS : Toda información relacionada con la Superestructura y la Infraestructura del puente.



Se debe consignar:

- La cantidad de Vanos y la luz de estos
- Dimensiones de las vigas principales , Cota de fondo de viga , El nivel de la calzada.
- La pendiente longitudinal y La pendiente Transversal.
- Características del sistema de Desagües del Puente.
- El número de Pilas, el diámetro de estas y su configuración.
- Características y Dimensiones de los estribos.
- Planos y memorias de cálculo del puente en estudio.
- Información del tipo y profundidad de las fundaciones.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

Datos HIDRÁULICOS :

Es toda la información hidráulica e hidrológica utilizada para diseñar el puente. En especial en este punto es de suma importancia realizar entrevistas a la gente del lugar, los que hayan podido presenciar eventos pasados, ya que en nuestro país en la mayoría de los casos se carece de información estadística metódicamente generada y la información histórica oral de testigos puede darnos una idea del comportamiento del cruce (puente y río), en situación de crecida.

- **Tipo de curso:** Recto, meandroso o trenzado, el conocimiento previo de esta situación nos ayudará a diagnosticar posibles problemas asociados, a la modificación natural del thalweg del río.
- **Los Caudales Máximos, Medios y Mínimos de los aforos históricos.** Esta información puede ser obtenida de distintas vías: Relevamientos realizados a nivel local por la entidad hidráulica correspondiente al sitio en cuestión, Relevamientos realizados por consultoras privadas, que se dedican a este tipo de estudios, etc.
- **Los tirantes de aire, aguas arriba y aguas abajo del sitio de implantación del Puente.**



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

- **Las crecidas del curso registradas y los niveles de aguas alcanzados en dichos eventos.** Es interesante conocer en especial si se registro la inundación máxima centenaria o cual fue el nivel de la crecida máxima que haya tenido lugar en algún momento. Si el puente ha sobrevivido a la inundación de diseño en el pasado, es probable que sobreviva a la inundación de diseño en el futuro. Las crecidas máximas dan lugar a incrementos de los niveles de erosión, en especial la erosión local sobre las fundaciones de las pilas y estribos.
- **Las características del curso de aguas, ag. Arriba y ag. Abajo del sitio de implantación.** Observar la forma del curso es importante para poder determinar cuales serán los niveles de erosión de las márgenes, etc. En especial si te tienen curvas en el curso y si se presentan pérdidas visibles en las mismas.
- **Modificaciones observables en las márgenes.** Es decir si se observan incrementos o no de las márgenes, así como también si hay modificaciones en la divisoria de aguas de la corriente que puedan implicar un cambio de posición de las márgenes, etc.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

PÉRDIDAS EN LAS CURVAS DE UN CURSO DE AGUA





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

Datos GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS de la sección del puente y su entorno

- **Las características de los suelos de la zona de implantación.** Se deben realizar los estudios de suelos correspondientes. Es útil sobre todo para determinar niveles de erosión en la planicie de inundación, etc.
- **Estudios de suelo en pilas y estribos.** En especial este ítem dará idea de la erosión local esperable en la infraestructura del puente.
- **Características geotécnicas de las márgenes y todo el ancho susceptible de quedar bajo agua en crecidas:** Para poder analizar cómo será la erosión de márgenes esperable y su impacto en el puente.
- **Características geotécnicas de la cuenca de aporte de la sección del río de implantación del puente:**
Fundamentalmente en forma cualitativa, para analizar la susceptibilidad a la erosión, durante los ciclos anuales de precipitaciones y caudal, que puedan conducir al transporte de sedimentos hacia el curso de agua y posterior deposición en el lecho, que lleven a una disminución en el tirante útil bajo el puente





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

Datos TOPOGRÁFICOS

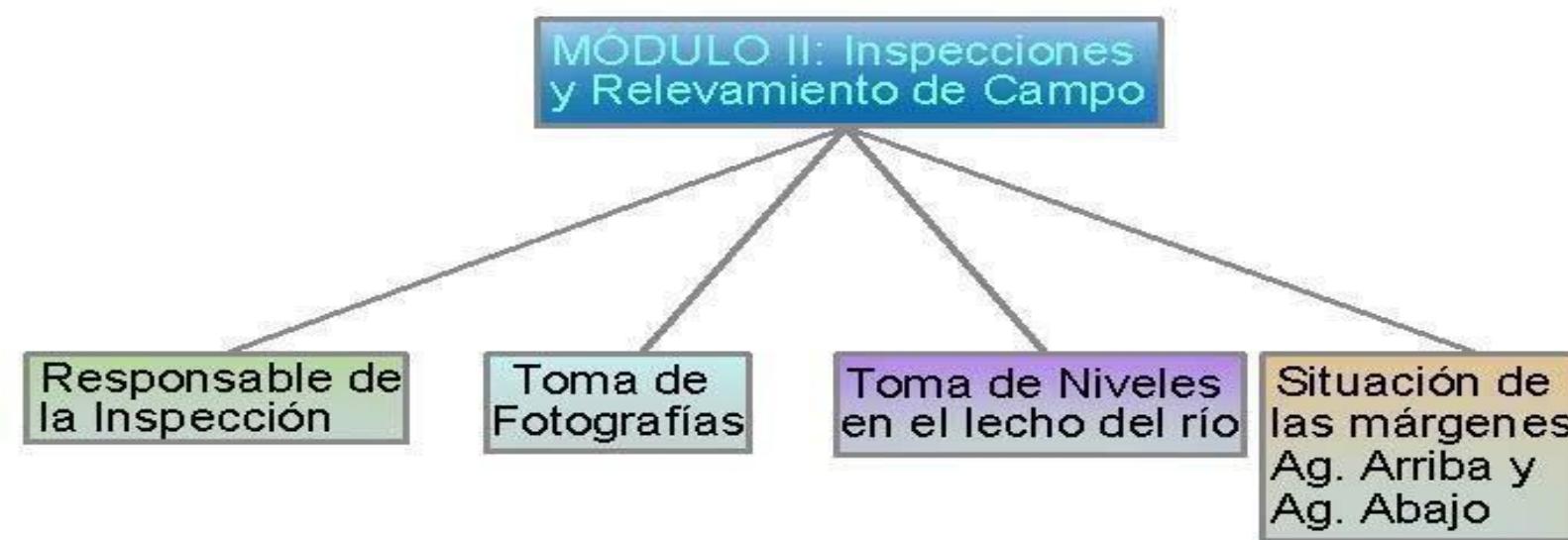
- **Pendiente natural del cauce.** En especial en la sección del puente y en un tramo del lecho aguas arriba y aguas abajo del puente, para poder estimar velocidades, etc.
- **Características topográficas, del entorno del cruce:** Si existen bajos, terraplenes, bordos de contención o encauzamiento.
- **Características topográficas del valle de inundación:** para poder limitar el área involucrada en situación de crecida.
- **Características topográficas de la cuenca de aporte de la sección del río de implantación del puente:** Aquí también, en primera instancia deberá conocerse en forma cualitativa, si es un río de montaña, la distancia de las laderas, al punto de cruce, si el cruce se encuentra en zona de valle o de alta pendiente, o en el área del cono de deyección de sedimentos, etc., y si es un río de llanura, estimar el ancho útil de escurrimiento para caudales máximos, etc.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

MÓDULO II

EL módulo II, es el que motoriza esta propuesta de base de datos. Es necesario un programa de inspecciones bien direccionado, para poder arribar a un diagnostico lo mas certero posible. Son fundamentales 4 aspectos:



En toda inspección a llevar a cabo, se debe consignar el nombre de la persona encargada de dicha tarea.

Es conveniente que el inspector posea una hoja de ruta en la cual, el deberá volcar información necesaria para realizar diagnósticos sobre posibles casos de erosión y sedimentación.

Se brindará a continuación el esquema de una posible hoja de ruta sugerida. Junto con las preguntas se indica la patología asociada a la misma.

La característica fundamental de la misma es que puede ser llevada a cabo por personal técnico, sin necesidad de la intervención en esa etapa, de Ingenieros o especialistas en el tema.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(A) Análisis general del Puente:

- ¿Alguna de las PILAS se encuentra rotada, inclinada o deformada? → **Possible erosión por socavación en el pie de una pila**
- ¿Alguno de los ESTRIBOS o ambos se encuentran rotados, inclinados o deformados? → **Este problema puede deberse por ejemplo a alguno de estos tres efectos:**
 1. Socavación de los cimientos.
 2. Empuje del suelo sobre el estribo
 3. Erosión en el terraplén del estribo.
- ¿El TABLERO del puente presenta signos de deflexión o de deformación? → **Señales de posibles asentamientos en las pilas o estribos del puente.**
- La estructura del puente, ¿Presenta algún desprendimiento o grieta importante? → **Señal de posibles problemas de erosión en pilas y estribos.**
- Situación del tirante útil en el cruce → **Señal de posible agradación del lecho por problemas de sedimentación.**

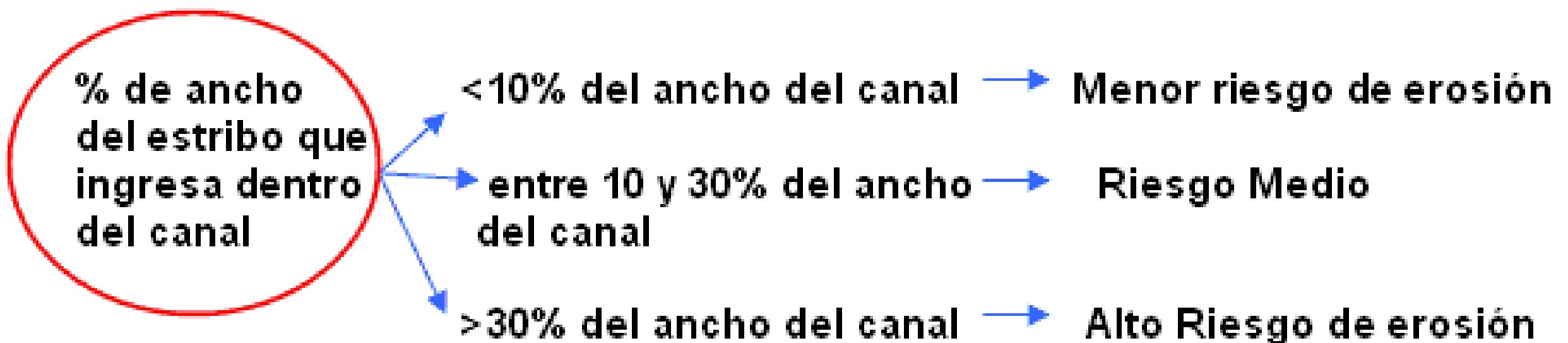


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(B) Análisis de estribos del Puente:

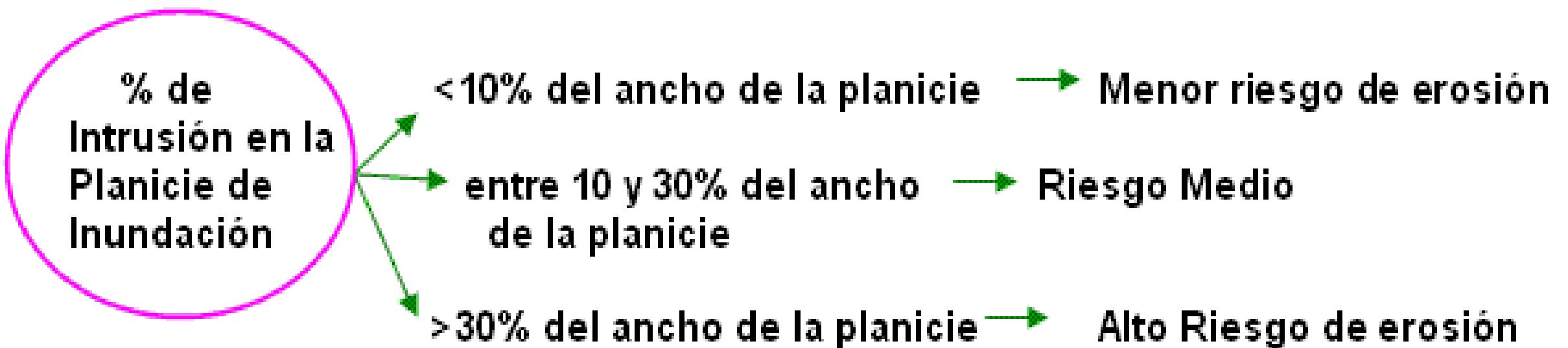
- ¿Cuan severa es la erosión en las márgenes donde se ubica dicho estribo? → [Erosión de márgenes](#).
- ¿Cuan severa es la erosión en la pila mas próxima al estribo en estudio? → [Erosión a pie de pila](#)
- El estribo esta construido en parte sobre el canal ¿Qué porcentaje del estribo ingreso dentro del canal? (Tomar dicho porcentaje respecto del ancho del canal) → [Ver porcentaje de ingreso en el canal.](#)





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

- El camino o carretera construida sobre un terraplén invade parte de la planicie natural de inundación. ¿Cuál es el porcentaje de esta intrusión? (tomar porcentaje con respecto al ancho de la planicie de inundación). → **Erosión por contracción**





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(B) Análisis de estribos del Puente:

- ¿Cuál es la altura del relleno que forma el terraplén que rodea al estribo? → Socavación de dicho terraplén por una crecida.
- Determinar el nivel de inundación máximo anual → Seguridad estructural del puente.
- Determinar el nivel máximo de agua durante la avenida anual → Seguridad estructural del puente.
- ¿Existe alguna obstrucción que desvíe el agua hacia el estribo? ¿Cuál es la importancia del caudal desviado? → Erosión por contracción



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(C) Estabilidad de Márgenes:

- ¿Cuál es la pendiente de la margen? → **Erosión de márgenes y migración de materiales.**
- ¿Cuál es la resistencia natural de la margen izquierda (Coeficiente de Manning)? → **Resistencia a la erosión.**
- ¿Cómo es la densidad de la vegetación que posee la misma? → **Estabilidad de la margen**
- ¿Tiene el río Estructuras Guía para reducir la erosión de las márgenes? ¿Cuáles son esas estructuras guía? (CLASIFICACIÓN) →
- ¿Cuál es el daño que se puede haber originado en las mismas?



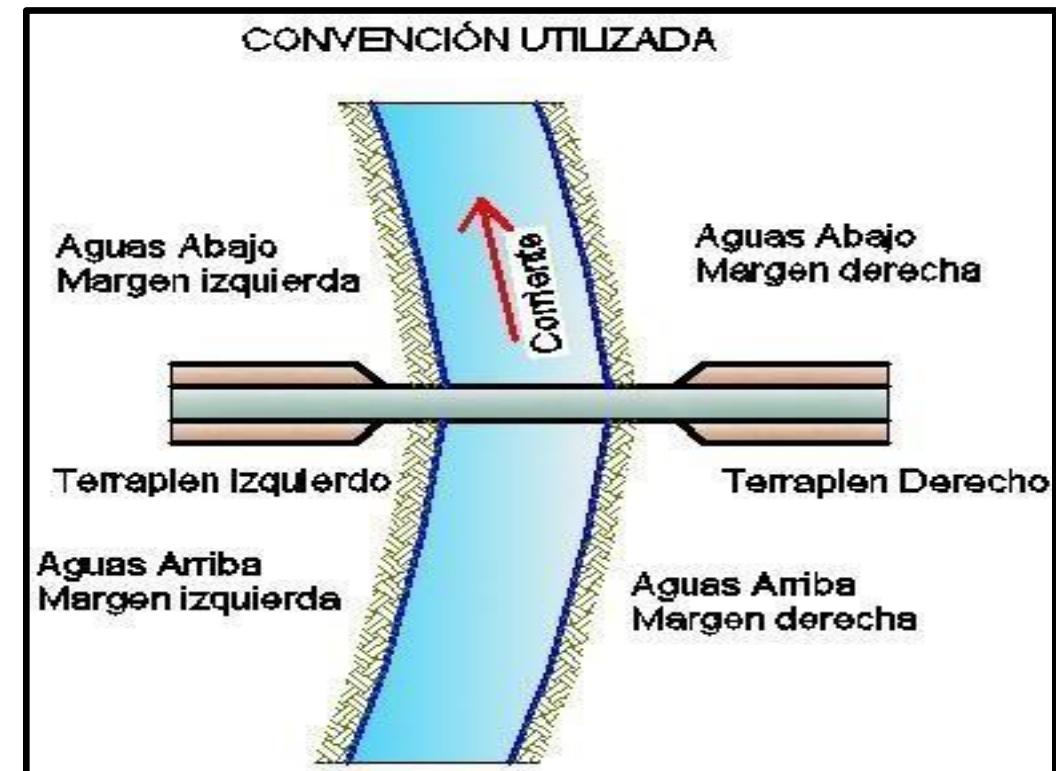
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(D) Situación Aguas Arriba y Aguas abajo del puente:

- ¿Existe alguna Pérdida localizada en las márgenes aguas arriba del puente? → Tasa de erosión lateral.
- ¿En qué lado del canal se ubica la pérdida en la margen? → Migración de sedimentos en la margen opuesta de la pérdida.
- ¿Se observa acumulación de sedimentos (no basura), de cualquier granulometría, que pueda haber arrastrado el agua? → Migración de sedimentos arrastrados desde algún sector de la cuenca de aporte.

- ¿Cuál es el tamaño de la pérdida en la margen? → Velocidad de la erosión
- ¿Qué clase de cobertura vegetal posee la misma? → Estabilidad de la margen.



Características de un curso de agua

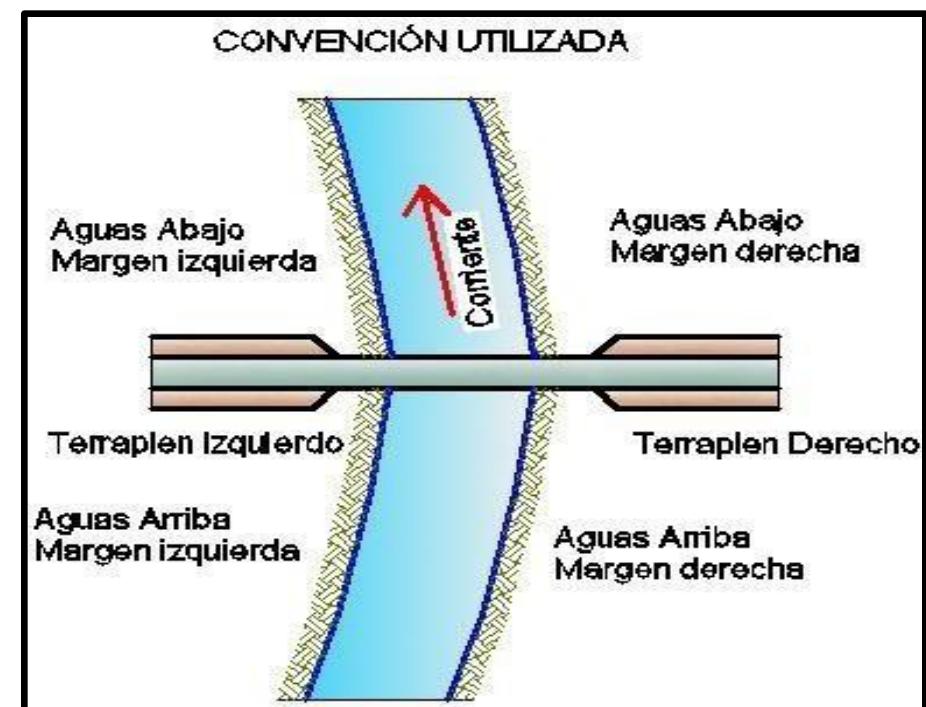


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(D) Situación Aguas Arriba y Aguas abajo del puente:

- ¿Existe alguna clase pérdida local dentro del curso, aguas arriba del puente? → **Inestabilidad de las márgenes, gran carga de sedimentos en el curso.**
- ¿Cuál es el tamaño de la misma? → **Tasa de erosión.**
- ¿Qué clase de cobertura vegetal posee la misma? → **Estabilidad de la pérdida.**
- ¿Cómo es la erosión de márgenes aguas arriba o aguas abajo del puente?
- ¿Existen medidas u obras de control de erosión sobre las márgenes? (enrocados, etc.)
- ¿De existir las mismas, presentan algún daño apreciable? → **Causa de posible erosión.**
- ¿Es la margen izquierda o la margen derecha aguas arriba, opuesta a una curva? → **Erosión por contracción.**





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(E) Datos de cada pila y estribo en particular

A continuación, se detalla una planilla tipo de datos de las pilas y estribos de un puente. El método de observación a utilizar es *la exploración / medición*.

	ESTRIBO IZQUIERDO	PILA 1	PILA 2	PILA N	ESTRIBO DERECHO
EROSIÓN LOCAL CALCULADA	Sin datos	Sin datos				
EROSIÓN POR CONTRACCIÓN CALCULADA	Sin datos	Sin datos				
¿ PIE DE PILA EXPUESTO ?	No	No				
LOCALIZACIÓN DE LA FUNDACIÓN	En contracorriente	Planicie de Fundación				
MEDIDAS DE PROTECCIÓN	No	No				
¿ MEDIDAS DAÑADAS ?	No se aplica	No se aplica				
HISTORIA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MISMA	No se aplica	No se aplica				
EROSIÓN HISTORICA	No critica	No critica				
ORIENTACIÓN DEL ESTRIBO	No oblícuo	-----				
UBICACIÓN DEL CURSO	Lejos del puente	-----				

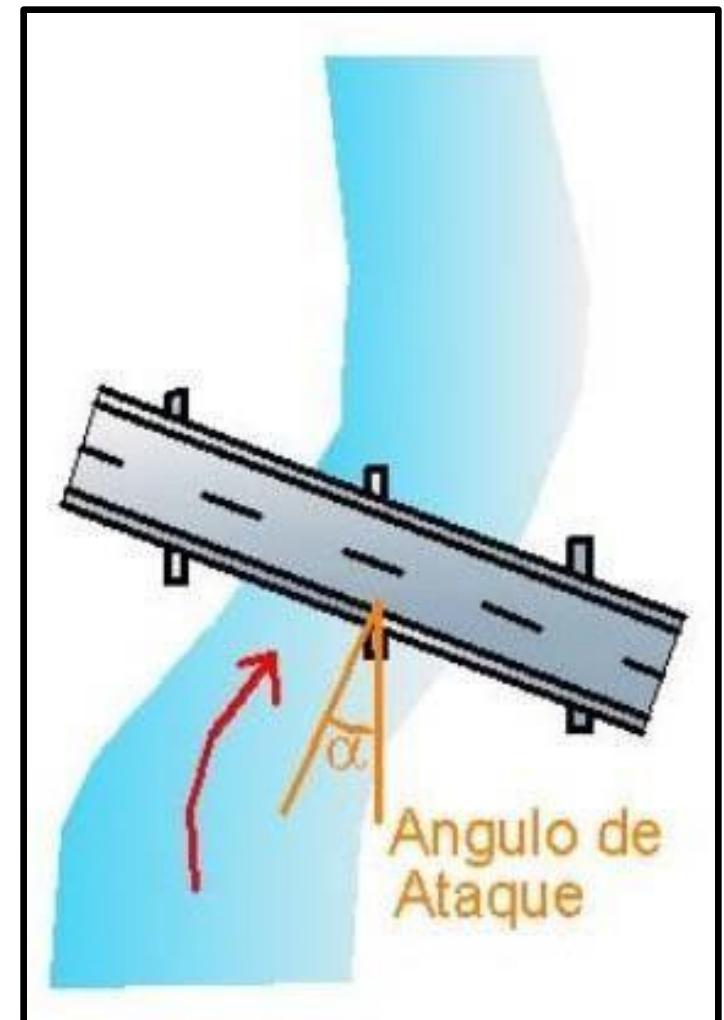


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(F) Datos generales del sitio:

- ¿Ha experimentado el puente la crecida máxima centenaria o la inundación máxima hasta el momento de la inspección?
→ [Probabilidad de falla del puente por una acción erosiva intensa, o pérdida de la luz útil por acumulación de sedimentos.](#)
- ¿Cuál es el ángulo de ataque del curso del agua sobre el puente? → [Erosión local sobre pilas y estribos.](#)
- ¿Cuál es el ancho de la planicie de inundación?
→ [Erosión por contracción en planicies angostas y erosión de márgenes al variar el curso den planicies anchas.](#)
- ¿Existe algún puente aliviador? → [Erosión por contracción.](#)
- ¿Las pilas del puente principal generan una contracción en el canal? → [Erosión por contracción.](#)
- ¿Las medidas de protección generan una contracción en el canal? → [Erosión por contracción.](#)
- ¿En qué medida se tiene cobertura vegetal en la planicie de inundación? → **NO RESPONDE**





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

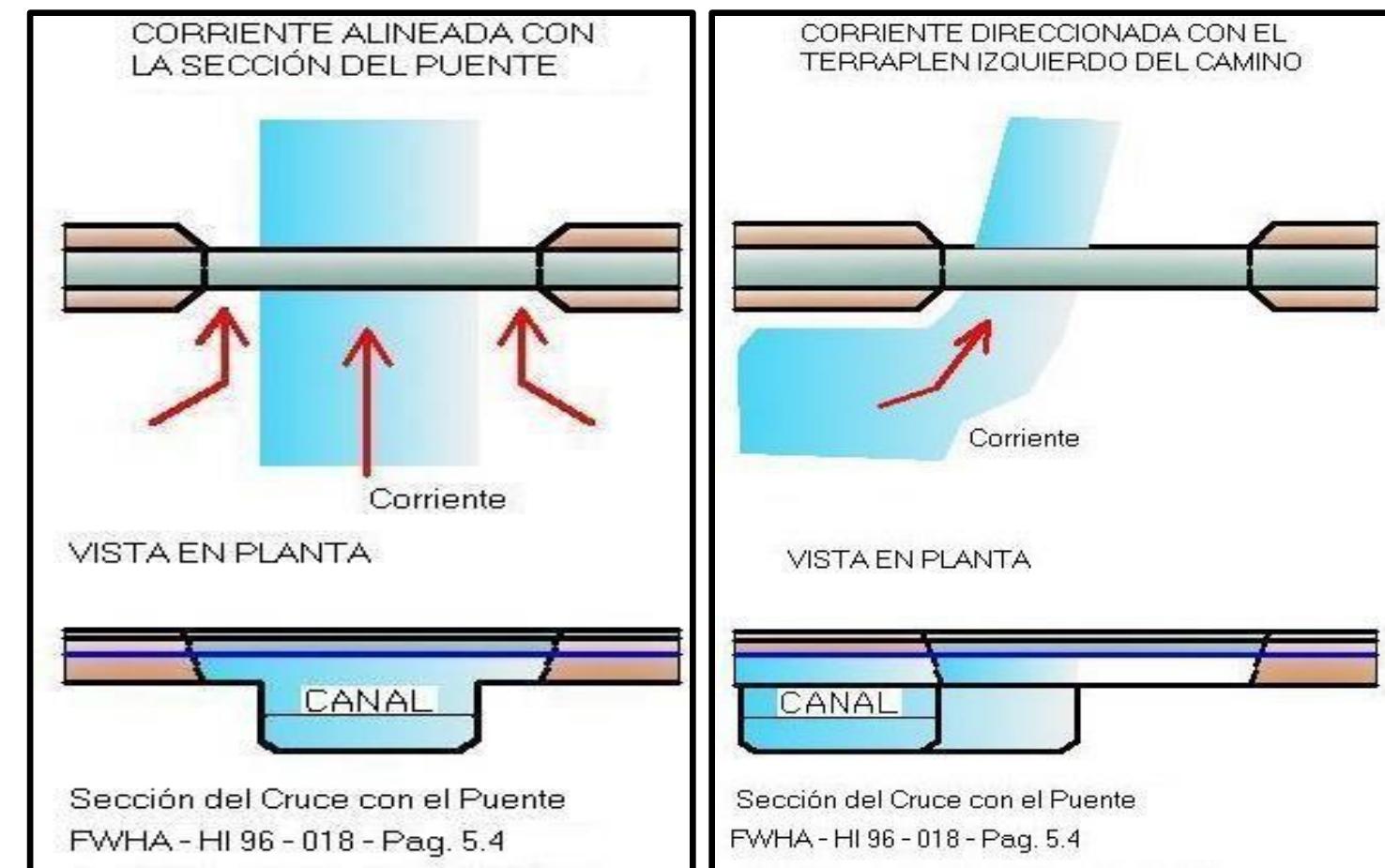
(F) Datos generales del sitio:

- ¿Cuál es la alineación del curso respecto de los vanos del puente? (se desarrollará este punto en forma completa a modo de ejemplo)
→ El inspector debe comparar los vanos con la alineación del curso para determinar si están alineados entre si o no.

Gran cantidad de puentes han tenido falla, en sitios donde la alineación del curso fue modificada hacia cualquiera de los dos terraplenes del camino (izquierdo o derecho).

Cuando el curso de agua está fuera de línea con el puente, la corriente se ve forzada a viajar a lo largo del terraplén del camino, hasta alcanzar el vano del puente. De este modo, en un estado de crecida, el curso de agua colisiona con el terraplén del estribo, incrementando el riesgo de erosión de este. Observar las siguientes imágenes de soporte.

El segundo caso, es lo que precisamente ocurrió con el puente de la Ruta Nacional 34 en el cruce con el Río Seco





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(F) Datos generales del sitio:

- ¿Cuáles de las siguientes actividades tienen lugar aguas arriba y aguas abajo, del sitio de implantación del puente?

- Explotación forestal → Erosión de laderas.
- Urbanización → Degradación del curso por aumento del volumen de agua precipitado.
- Presas de control → Agradación del curso aguas arriba de la presa y degradación del curso, aguas debajo de la misma.
- Canales de dragado / explotación de grava → Degradación del curso.
- Canal rectificador → Degradación del curso por aumento de la velocidad de la corriente.
- Presa de embalse → Agradación del curso aguas arriba de la presa

Ataque lateral al puente sobre el Río Seco





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(G) Puente:

- Las mismas apreciaciones que se realizaron aguas arriba y aguas abajo del puente se aplican en el sitio de implantación de este.
- ¿Existen medidas u obras de control de erosión sobre los elementos estructurales del puente? (enrocados, etc.)
(Se desarrollará este punto en forma completa, a modo de ejemplo).

→ Se debe inspeccionar cada pila o estribo en busca de medidas de control. Se debe seleccionar “SI” para aquellas pilas que presente dichas estructuras. De lo contrario seleccionar “NO”.

Las medidas de control se utilizan para reducir la profundidad de erosión y para alejar la erosión de los elementos estructurales del puente.

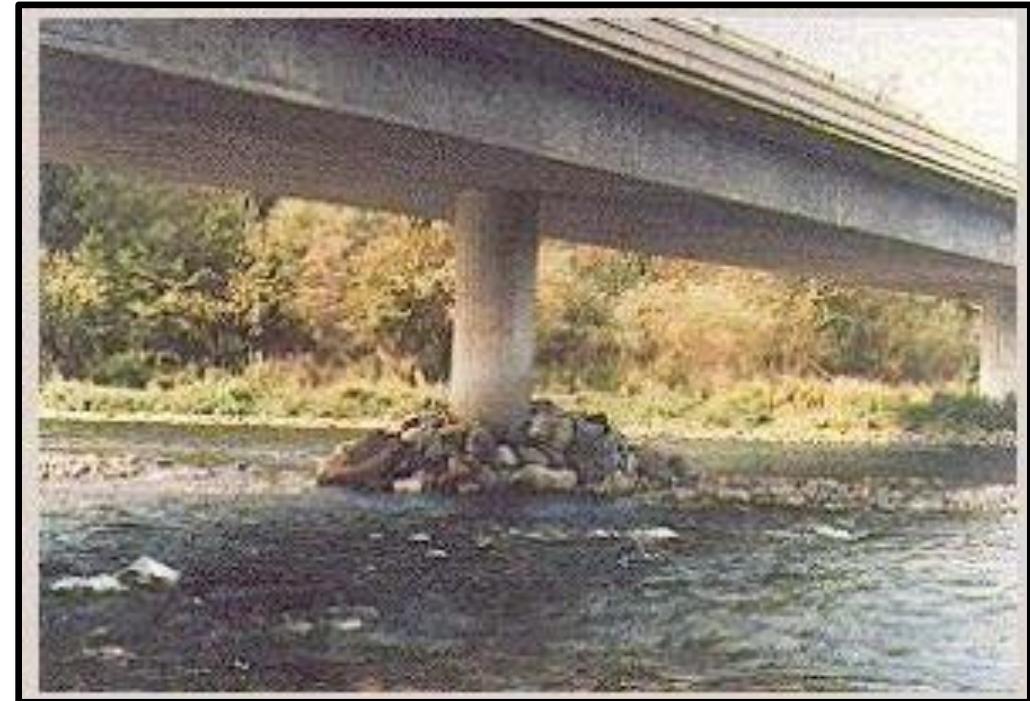
- ¿De existir las mismas, presentan algún daño apreciable? → Causa de posible erosión.

Medidas de control sobre PILAS:

Son aquellas diseñadas específicamente para proteger las pilas. Existen dos tipos de medidas de control para pilas:

- (a) Aquellas que proveen protección por encima o por debajo del lecho del curso, inhibiendo el desarrollo de depresiones (pozos).
- (b) Aquellas que prevén la formación de vórtices o reducen la fuerza de los vórtices que arriban hacia la pila. Son vórtices que generan erosión en la pila.

En la siguiente imagen se muestra un ENROCADO o RIP-RAP, alrededor de una pila:





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(G) Puente:

Medidas de control sobre ESTRIBOS:

Se diseñan específicamente para proteger uno o ambos estribos. Existen dos tipos de medidas de control sobre estribos:

(a) **Espigones:** pueden ser de tierra o de Enrocado (Rip-Rap). Se sitúan sobre el estribo. Su función principal es proteger al terraplén del camino y reducir la erosión local sobre el estribo y sobre las pilas adyacentes al mismo. Por otro lado, ayudan a desplazar la zona en donde los efectos erosivos son mayores hacia el final de la escollera.

El espigón protege al estribo del agua proveniente de una crecida por inundación que pueda escurrir por detrás del estribo y generar socavación de las fundaciones.

(b) **Revestimientos:** Pueden ser de roca permeable o de concreto rígido.

El revestimiento de roca RIP-RAP provee de una efectiva protección contra la erosión en la zona de transición entre el puente y el terraplén de aproximación. Los revestimientos de concreto rígido pueden ser útiles para proteger estribos, cuando la zona de transición se encuentra sobre la planicie de inundación. También se puede generar un RIP-RAP de material pobre sobre el terraplén de aproximación y la zona de transición, siempre con el adecuado filtro de finos.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

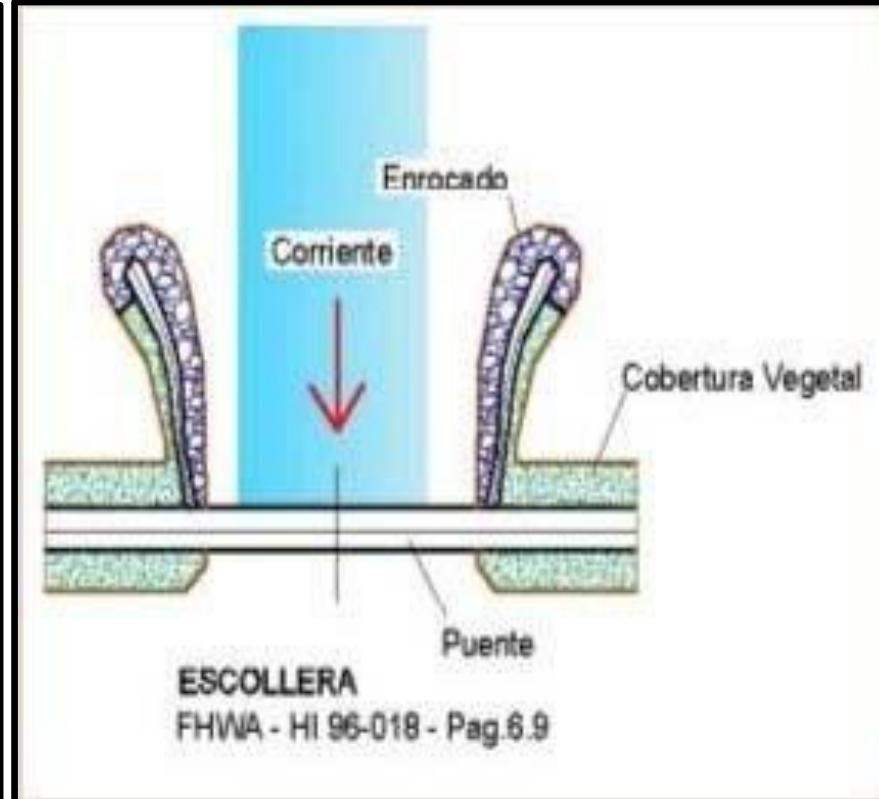
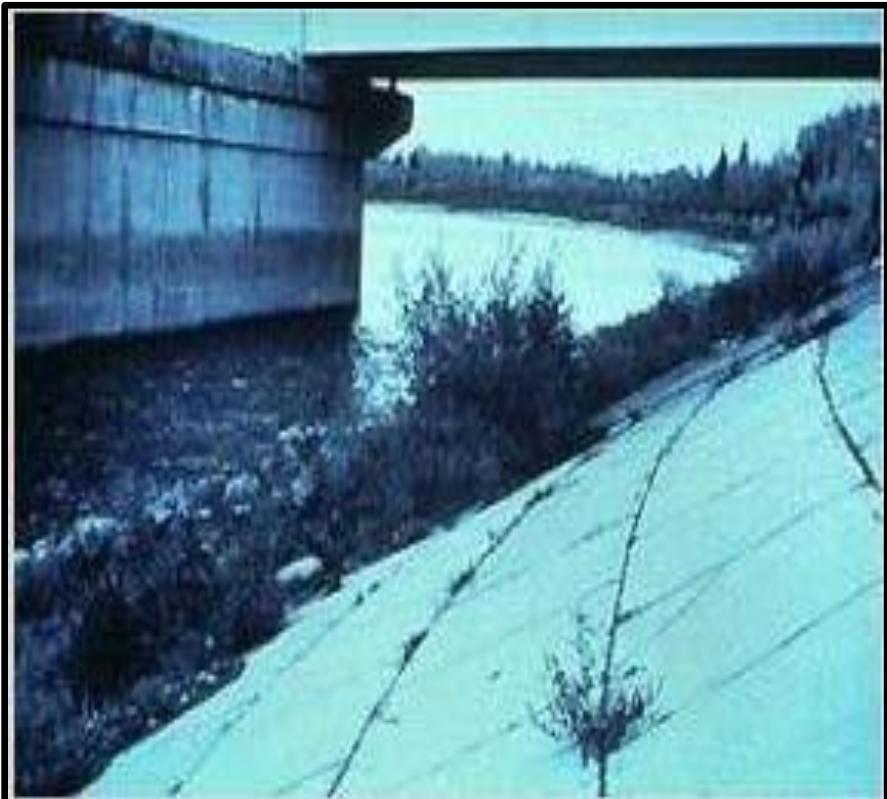
HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(G) Puente:

Ejemplos de medidas de control sobre estribos:



RIP – RAP de material de escombros



Protección de hormigón



Escollera

Escollera en el río Knik - Alaska



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(H) Sitio del puente:

- ¿Hay acumulación de materiales importantes (sean escombros, basura de gran tamaño, etc.) en el sitio del Puente? → **Incremento de la erosión local.**
- ¿Hay acumulación de materiales importantes (sean escombros, basura de gran tamaño, etc.) en los siguientes sitios?
 1. En el canal → **Incremento de la erosión local.**
 2. Sobre las márgenes → **Incremento de la erosión de márgenes.**
 3. Sobre la planicie de inundación → **Problemas de erosión en el puente**
- ¿El curso de agua presenta un ancho constante? → **Estabilidad lateral del curso.**
- ¿Cómo es el valle que rodea a la corriente que atraviesa el puente? → **Corrientes en áreas montañosas generan menores problemas hidráulicos que corrientes en áreas de bajo relieve.**



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(I) Sección del cruce:

- Con respecto a la ultima inspección, ¿Cuál es el estado del nivel del lecho del río en el lado derecho y en el lado izquierdo del canal? → Degradación o agradoación del curso de agua.
- ¿Existe algún hueco generado por erosión local, en la sección de corte? → Erosión debido a la corriente.
- ¿Una comparación de secciones de corte puede mostrar el nivel de estabilidad del Thalweg? → Si el Thalweg se desplaza se tiene inestabilidad lateral del curso.
- Comparando secciones de corte, ¿Se puede apreciar un cambio en alguna de las secciones laterales del curso? → La variación lateral del curso puede generar erosión por socavación en el puente y conducirlo a una falla estructural.
- Variación del Thalweg a lo largo del tiempo → Socavación de pie de pila.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

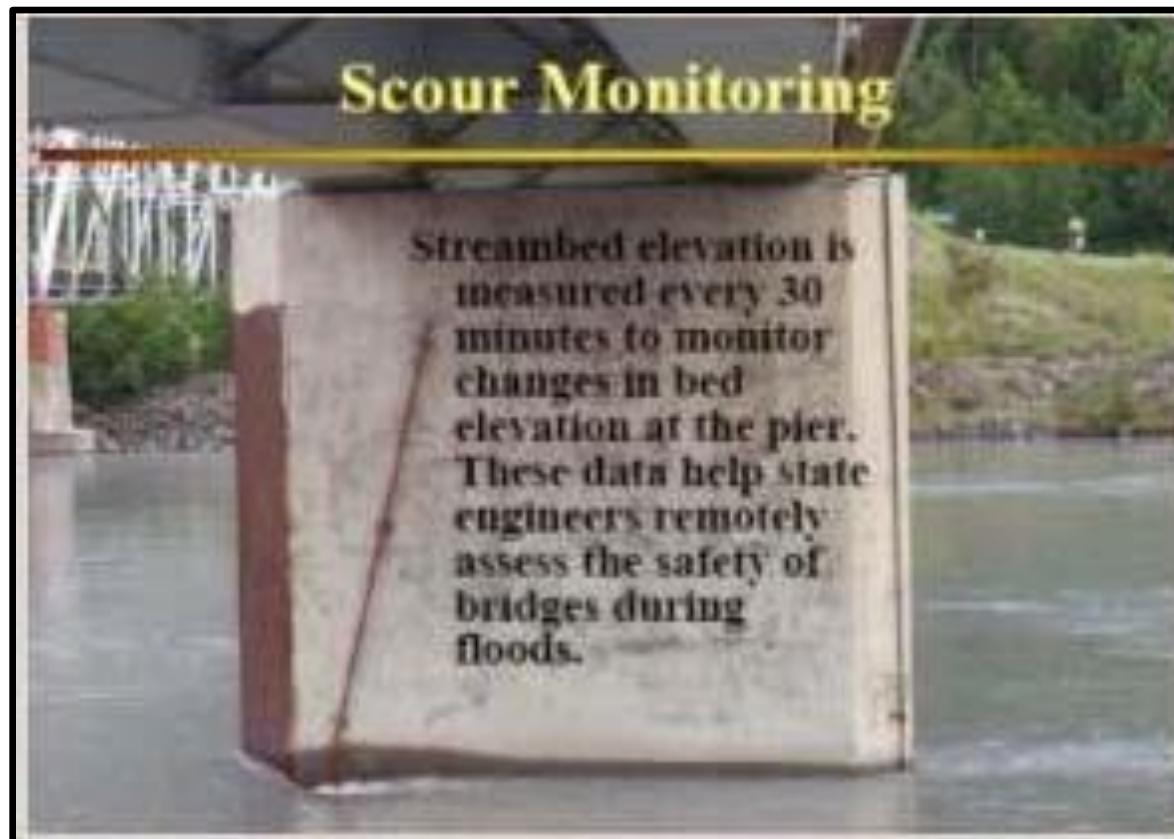
HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

En líneas generales, la hoja de ruta que se sugiere debería seguir un inspector durante una inspección.

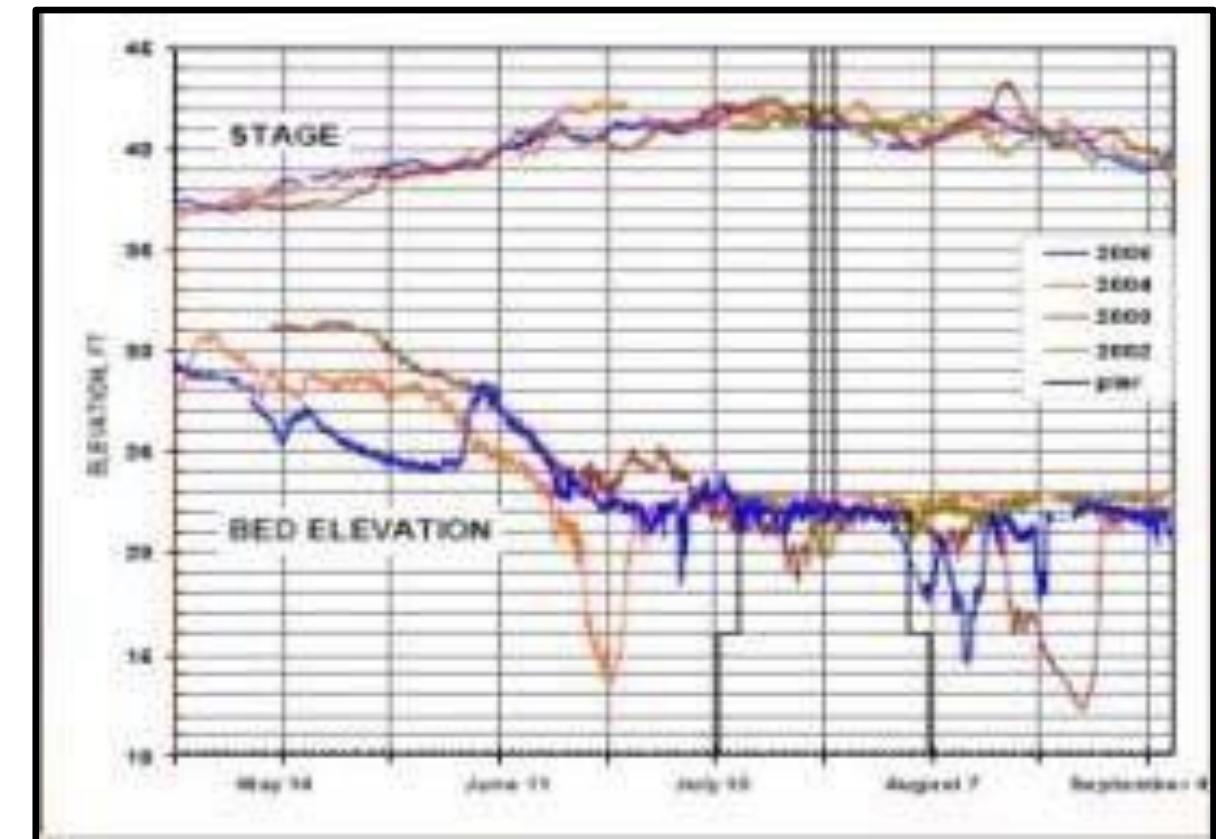
En concordancia con los aspectos abarcados por esta guía de observación, es importante el aporte de las nuevas tecnologías utilizadas en Europa y Estados Unidos, para mejorar los diagnósticos a realizar con la información obtenida en un relevamiento, en tiempo real.

A tal fin, se cuentan con una serie de importantes herramientas como, por ejemplo;

(A) Sensores que dan lectura de nivel del lecho de fondeo en un cierto periodo de tiempo:



Sensor de monitoreo



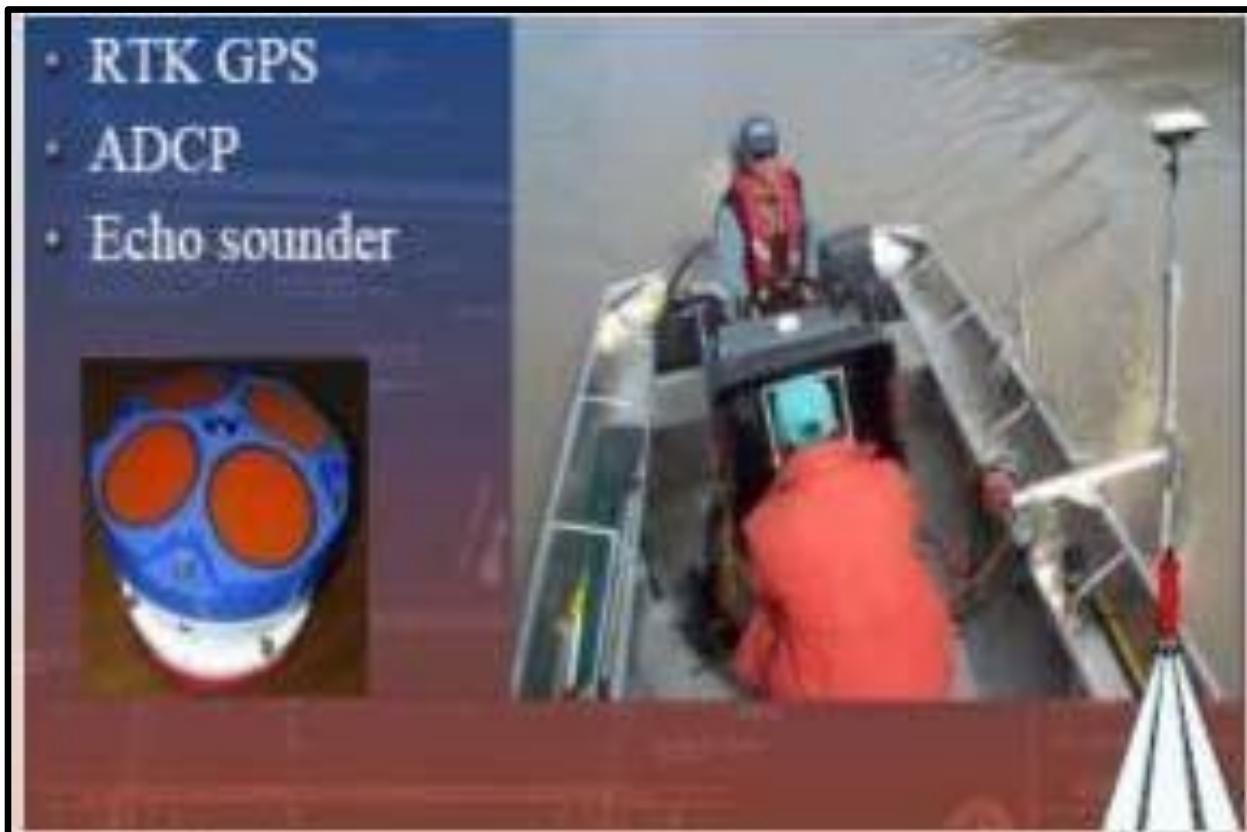
Lectura de dicho sensor



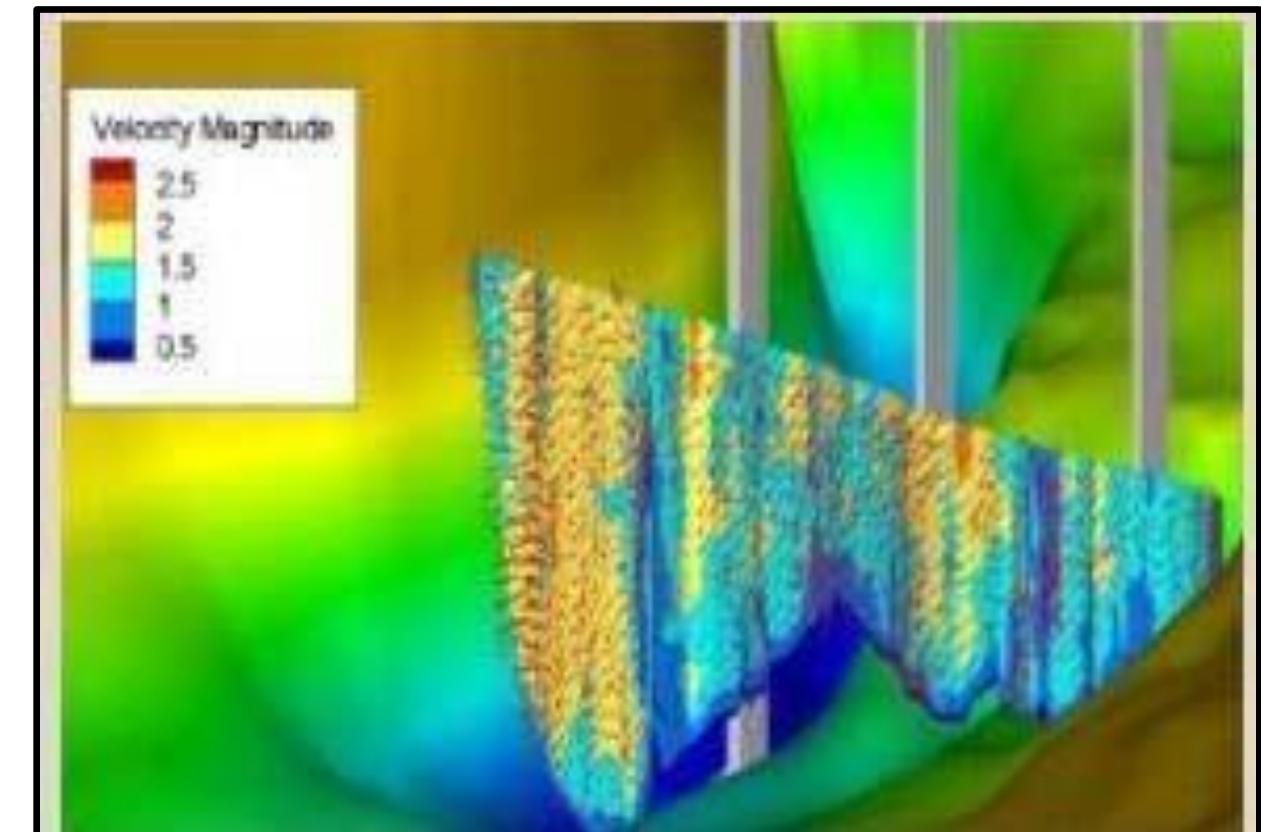
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(B) Ecosondas para determinar, no solo profundidades, sino también velocidades en distintos puntos, lo cual permitiría obtener un perfil de velocidades del curso:



Ecosonda



Perfil de velocidades obtenido



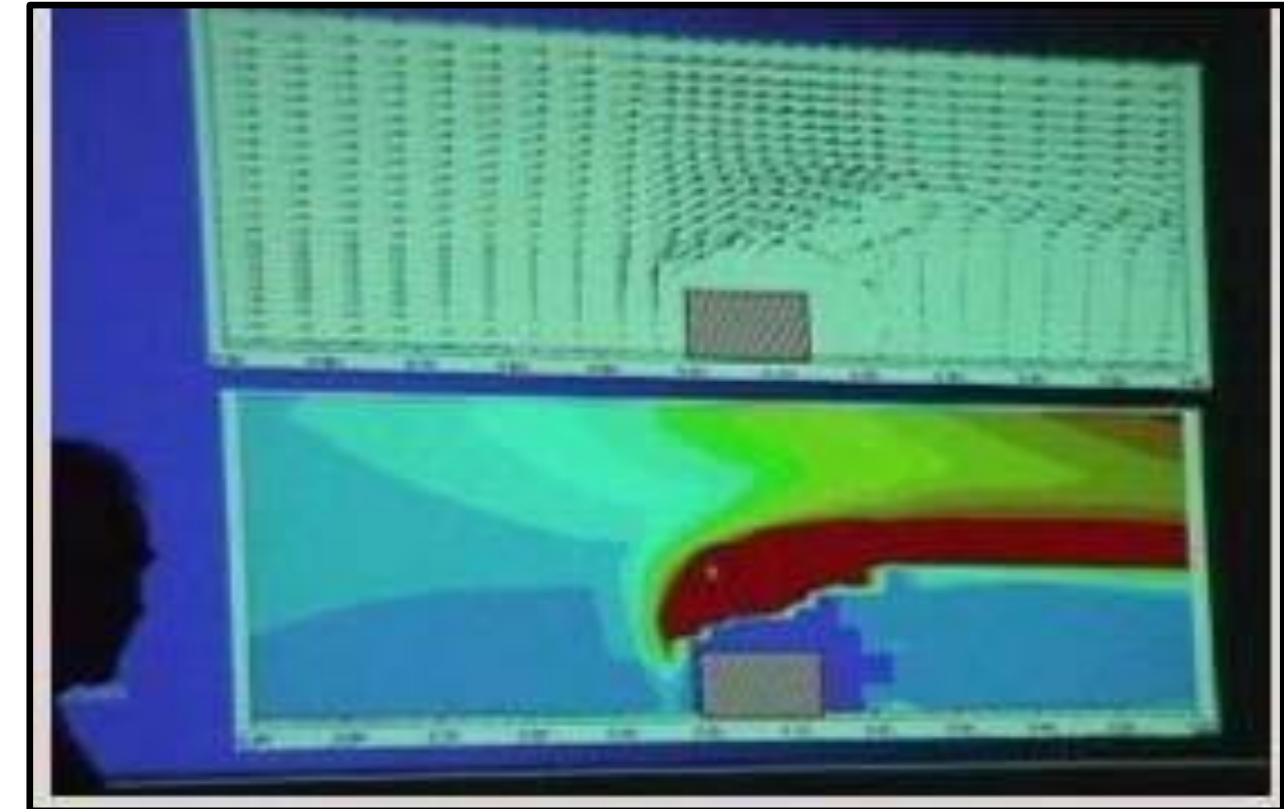
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

HOJA DE RUTA DE INSPECCIÓN TIPO

(C) Dispositivos indicadores de variación de velocidad en el curso. Se utiliza para determinar niveles de turbulencia en pilas. Por ejemplo:



Dispositivo indicador utilizado en el puente Wallingford



Modelo construido en base a lectura de sensores

En nuestro país, estas técnicas aun no tienen demasiada difusión.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

MÓDULO III

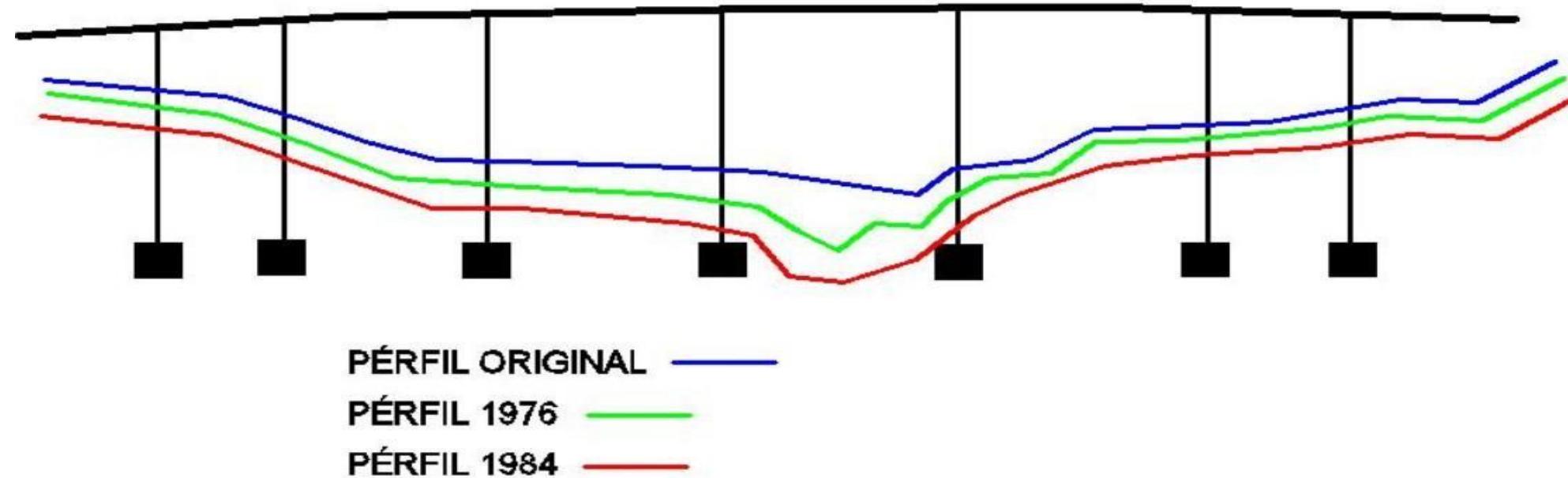
El módulo III, es el que permite graficar la situación del puente y del lecho en las configuraciones que solicite el usuario, permitiendo comparar las distintas inspecciones que puedan tenerse registradas a lo largo del tiempo.

La importancia de comparar los perfiles en el tiempo, es por ejemplo, estudiar la degradación o agradación vertical del *thalweg* en el tiempo.

La degradación vertical de la divisoria de aguas constituye un grave problema hidráulico que puede comprometer la seguridad estructural de un puente.

Si las pilas de ambos lados del *thalweg* se ven socavadas, el problema se puede trasladar a las pilas adyacentes.

DEGRADACIÓN DEL THALWEG EN EL TIEMPO

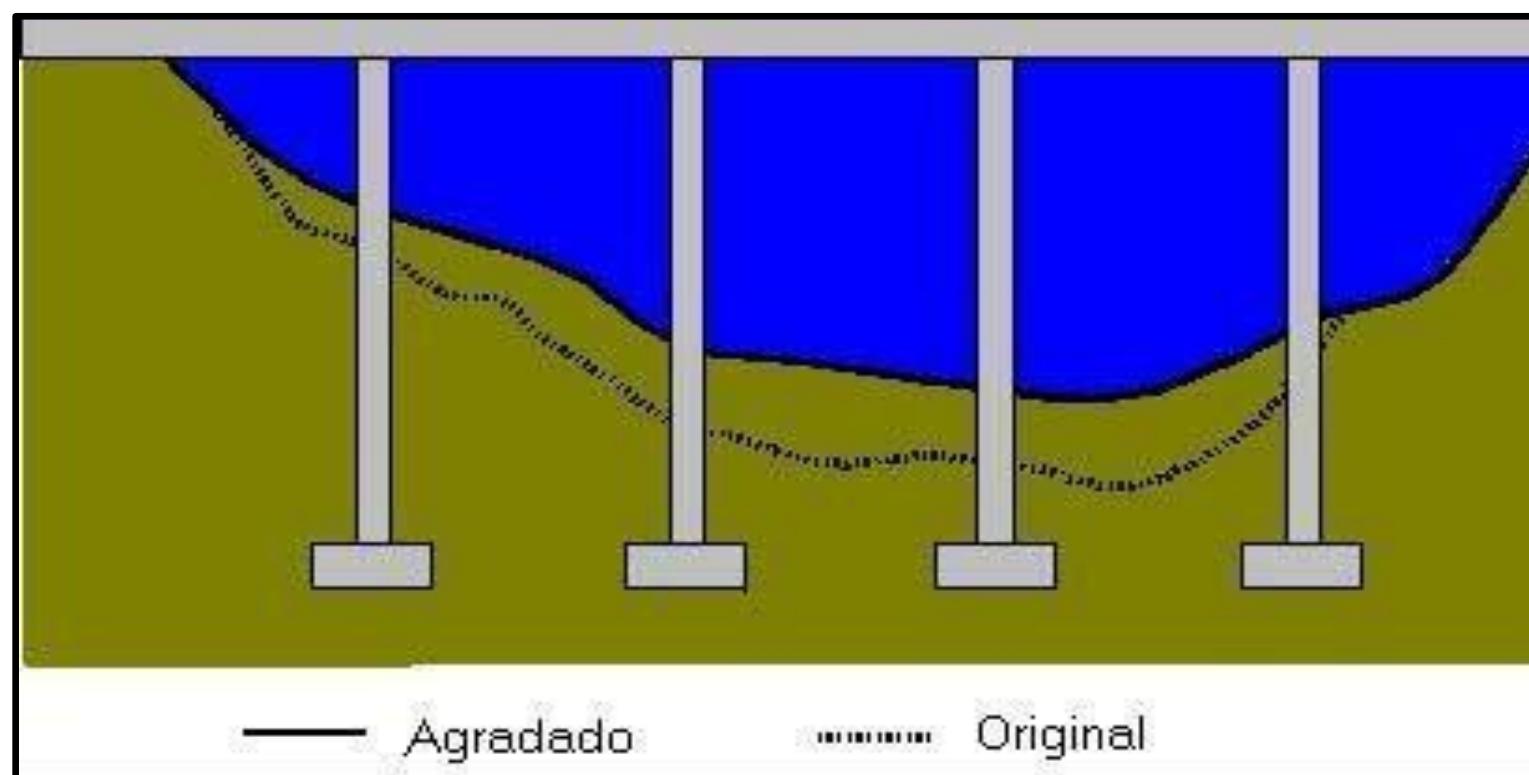
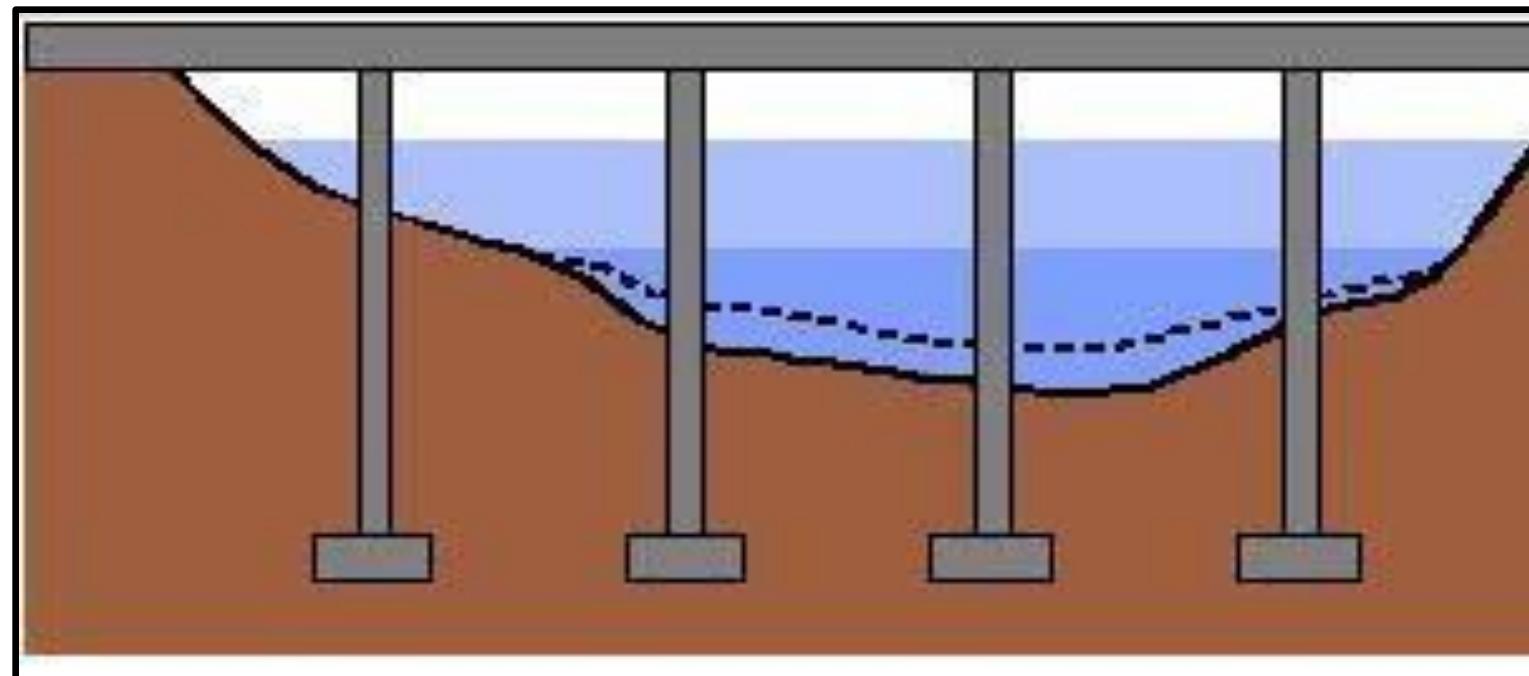


Degradación vertical del *Thalweg* en el tiempo. Se observa que las pilas adyacentes al *Thalweg* corren riesgo de Socavación y Falla



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

A continuación, se esquematizan los fenómenos de ***Agradación*** y ***Degradación***:





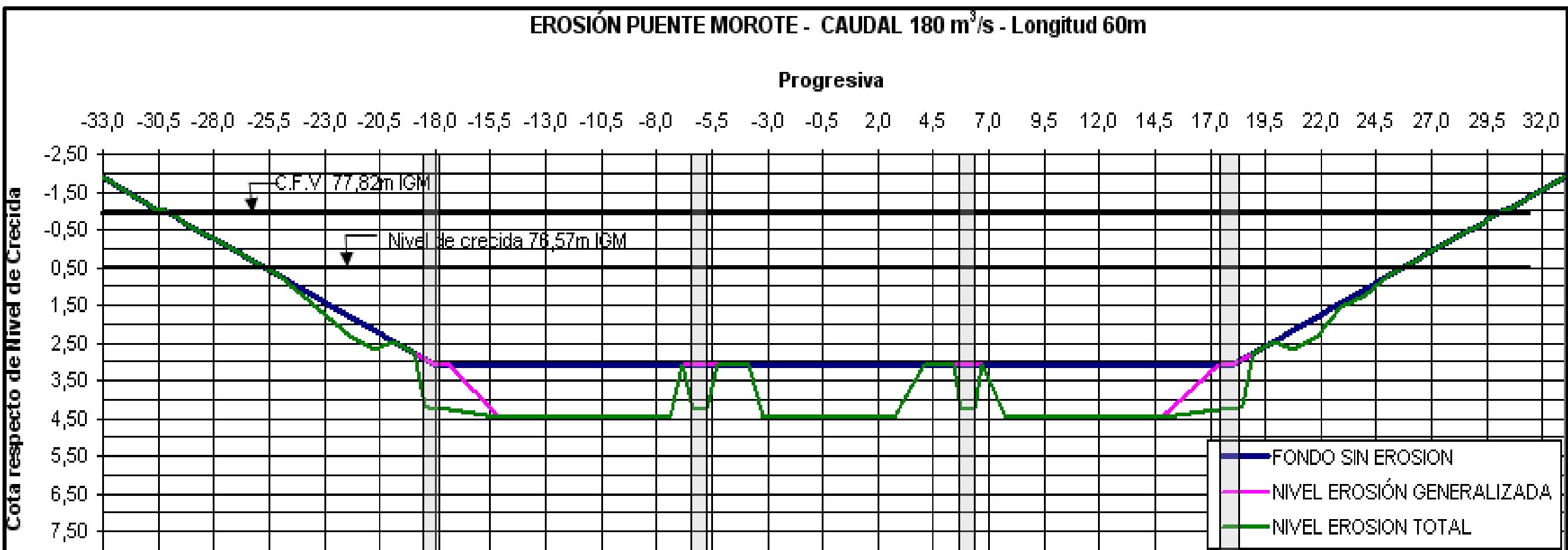
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

Para el **trazado del perfil batimétrico**, se sugiere llenar en una inspección, una planilla similar a la siguiente:

Nº	REFERENCIA PILA	HORIZONTAL w/r hacia la Pila.	VERTICAL w/r hacia la Pila.	DISTANCIA vertical al lecho.
1	End. B1	0	0.21	4
2	B1	0	1.26	24.2
3	B2	0	1.42	25.2
4	End. B2	1	2.1	25





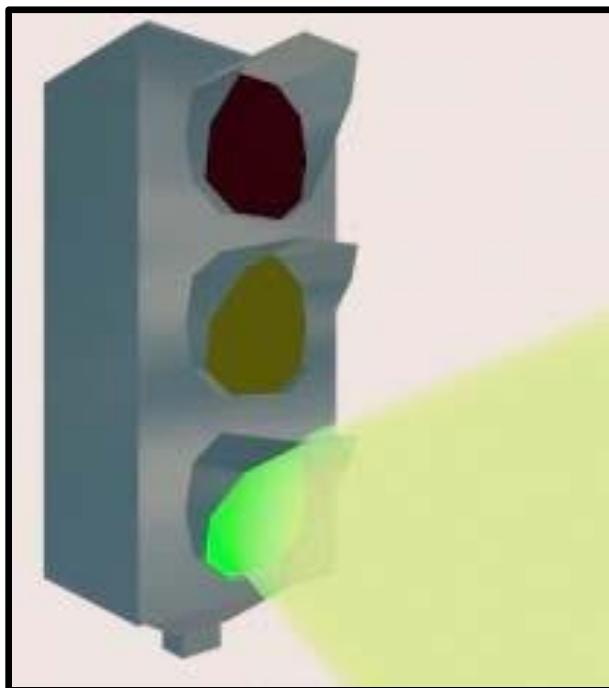
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

MÓDULO IV

El módulo IV, es el módulo de **diagnóstico**. En base a toda la información registrada, permitirá clasificar la situación de acuerdo con un **semáforo** primario del estado del Puente frente a la Erosión.

La idea es generar en una primera etapa, un primer semáforo que mida tres niveles de situación. Con el tiempo, de lograr un sistema de datos a nivel nacional se pretende obtener semáforos con niveles intermedios, de modo de abarcar distintos estados posibles, para generar medidas correctivas más adecuadas y en el momento más oportuno.

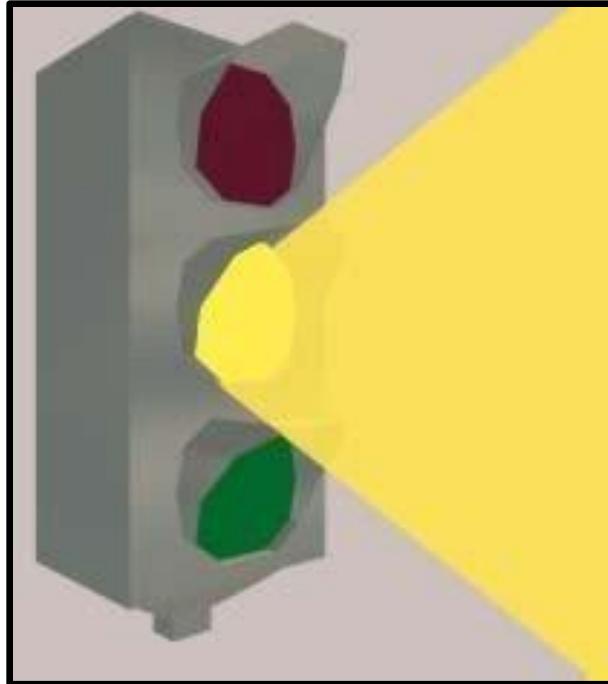
Una primera clasificación sería la siguiente:



El puente tiene niveles de erosión nulos o escasos.
No se ve comprometido el normal funcionamiento de este.
Se pueden programar inspecciones de control y monitoreo con cierta regularidad.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

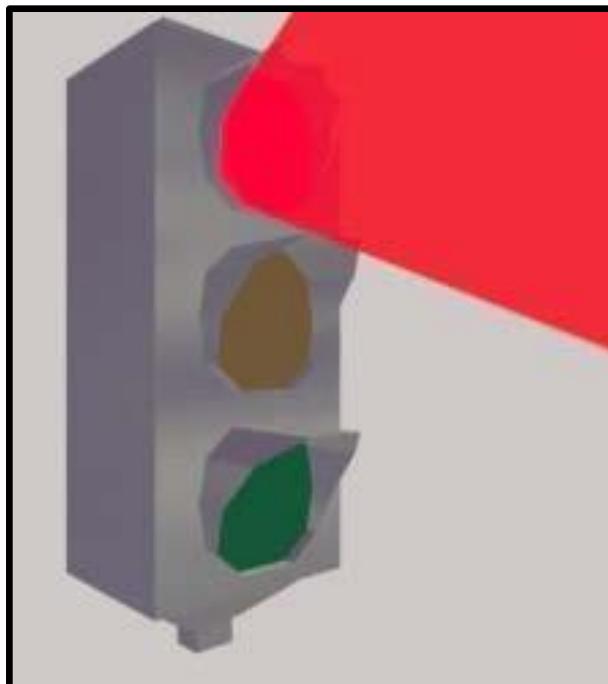


El puente presenta algunos indicios de erosión.

Se deben tomar medidas adecuadas para frenar dichos procesos, pues se puede ver comprometida la seguridad de la estructura.

Se debe comenzar a actuar y las inspecciones deben aumentar su frecuencia.

Eventualmente puede requerirse la presencia de especialistas y es posible que sea necesario limitar temporalmente el tránsito.



El puente presenta niveles de erosión muy altos.

También pueden presentar señales que indiquen una posible falla estructural.

Debe ser cerrado inmediatamente, pues corre el riesgo de colapsar.

La visita de un especialista resulta imprescindible y urgente.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

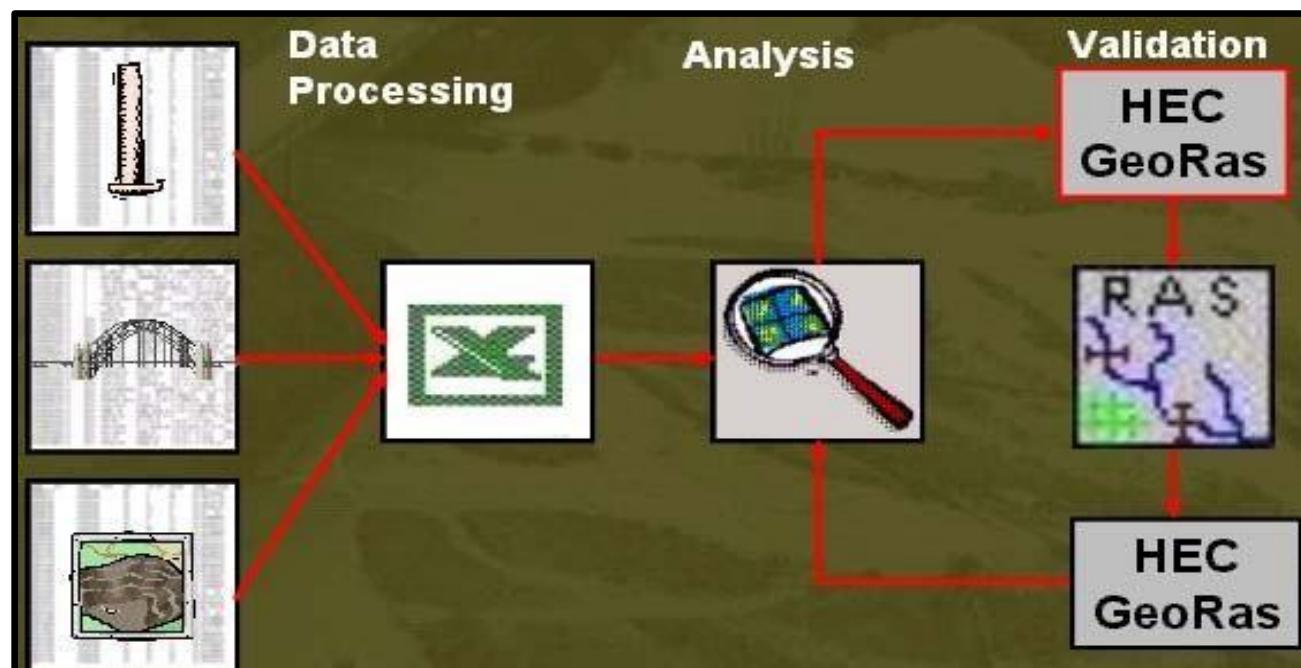
HIDRAULICA DE PUENTES

El aporte de las nuevas tecnologías es muy útil para poder realizar estudios de predicción.

En especial el uso de **modelos digitales** permite evaluar los riesgos de erosión potencial en algunos puentes.

Por ejemplo, se puede combinar el uso de planillas de cálculo donde es volcada la información recolectada junto con la información obtenida de bases de datos como la de Vialidad Nacional y se procesa dicha información con herramientas de análisis digital como el Arcview – GIS, y en especial con su módulo de análisis de erosión Hec-GeoRas, desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de los EEUU. El mismo permite simular distintos escenarios de erosión posibles.

La interacción entre los elementos anteriores es la siguiente:



Esquema de un sistema predictivo utilizando planillas de cálculo y herramientas GIS, para procesamiento digital de información.

En nuestro país solo se utilizan estas técnicas en casos muy puntuales (Obras de gran envergadura). En el común de los puentes no se tienen prácticamente estudios, donde se hayan aplicado técnicas de tratamiento digital de información. Es una situación que sería bueno modificar para poder brindar diagnósticos y pronósticos más precisos y de ese modo poder realizar un mantenimiento adecuado de la estructura, de manera de ahorrar dinero y extender la vida útil de la obra.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

CONCLUSIONES

- Entendemos que esta idea, debidamente analizada, debatida y complementada, permitiría obtener una primera versión CONSENSUADA entre los diferentes organismos y autoridades nacionales de aplicación, del programa de monitoreo propuesto y los pasos a seguir para su implementación.
- Una vez producido esto, se pueden comenzar en forma sistemática y ordenada la toma de datos tanto de campo como en gabinete para trasladar los mismos a una base UNICA a ser publicada, de modo que pueda ser consultada por los Ingenieros y otros usuarios, evaluar resultados de mediciones y comprobar fórmulas de estimación de los fenómenos .
- Obviamente, el módulo de diagnóstico requiere el trabajo de los especialistas en el tema, pero habiendo ya cumplimentado previamente, la etapa de toma de datos y mediante su acceso en red, permite optimizar los recursos y analizar una importante cantidad de obras con menor esfuerzo.
- El mantenimiento de la Base de Datos puede realizarla Dirección Nacional de Vialidad, las Vialidades Provinciales, el I.N.A.,
- El monitoreo, podría perfectamente incluir los aspectos estructurales “puros” del Puente, los que se encuentran al momento, fuera del alcance de nuestra propuesta.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

BIBLIOGRAFÍA:

Hydraulics of Bridge Waterways. – HDS1

EVALUACIÓN Y MONITOREO DE PUENTES EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Ing. Adolfo Guitelman (*); Inga. Adriana del Valle Leiva (**); Ing. Andrés Sergio Bebczuk

Stream Stability at Highway Structures, 2nd ed. – HEC-20

Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures. – HEC 23

Adolfo Guitelman – Agustín Rigou – U.B.A. Erosión y Socavación - Construcciones Hidráulicas.