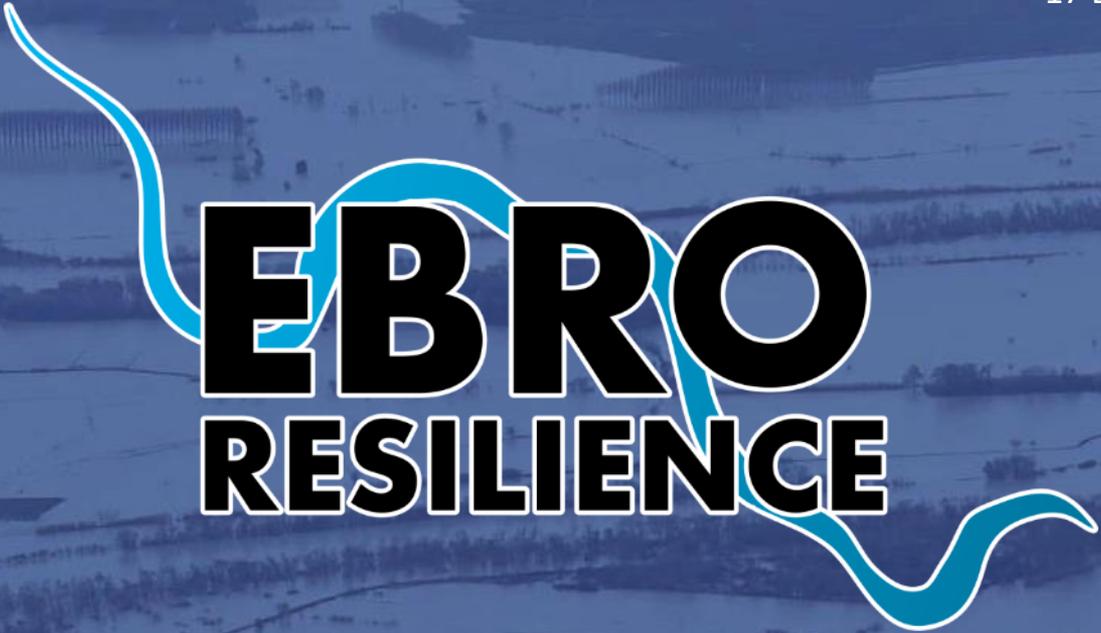


17 DE FEBRERO DE 2021

A stylized blue wavy line graphic that flows around the text 'EBRO RESILIENCE'. It starts from the top left, loops around the 'E' and 'B', dips under the 'R', loops around the 'O', dips under the 'R', loops around the 'E', and ends at the bottom right.

EBRO RESILIENCE

**Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro
caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización**

Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización

- **INTRODUCCIÓN**
- **LAS ESTACIONES DE AFORO**
- **LOS AFOROS DIRECTOS**
- **LOS CAUDALES DEL RÍO EBRO EN SU TRAMO MEDIO**
- **RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS**

- **INTRODUCCIÓN**
- **LAS ESTACIONES DE AFORO**
- **LOS AFOROS DIRECTOS**
- **LOS CAUDALES DEL RÍO EBRO EN SU TRAMO MEDIO**
- **RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS**

Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización



¿Qué es una estación de aforo?

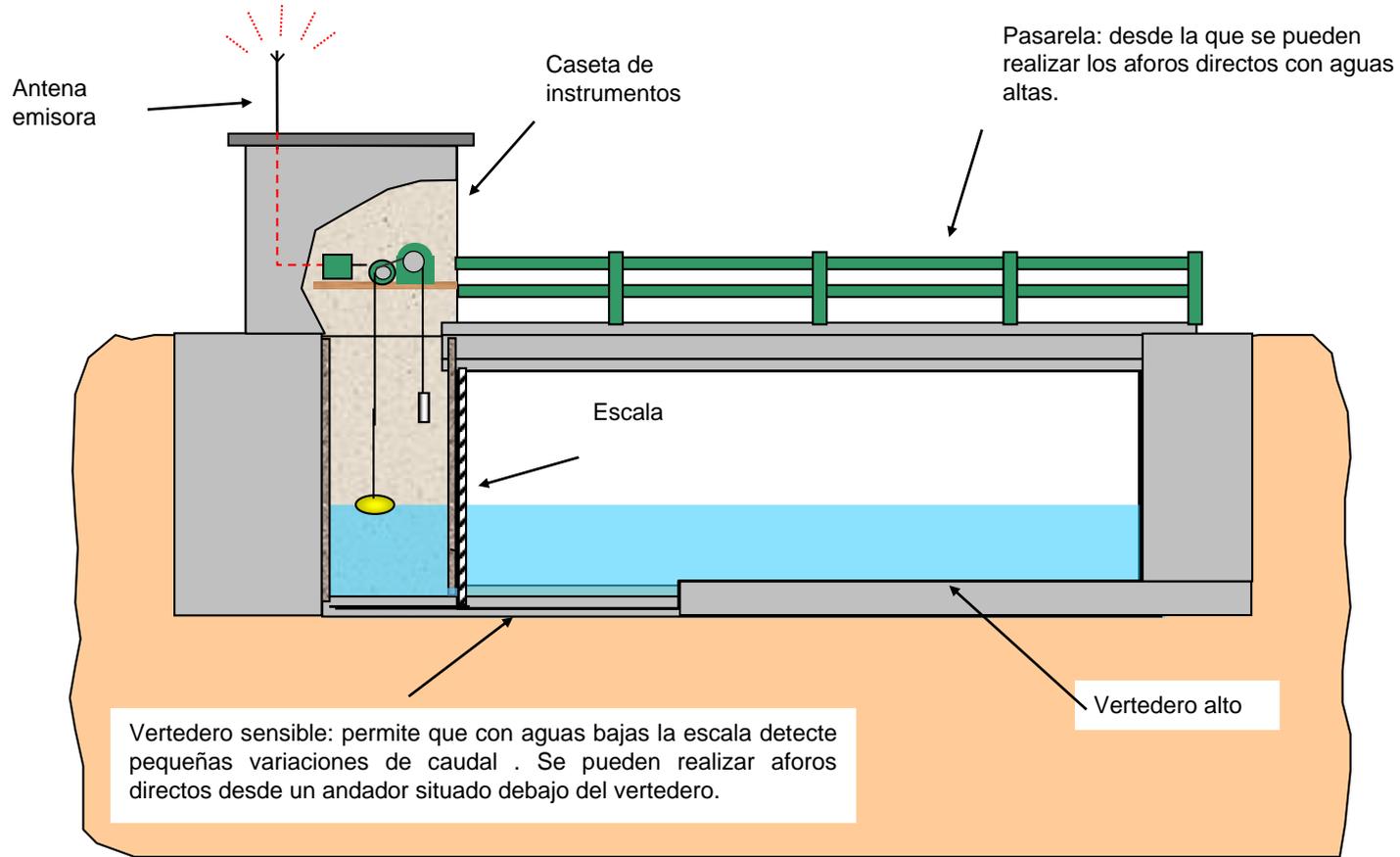
Las **estaciones de aforo** son instalaciones que nos permiten medir la altura de agua que circula por el río en esa sección. En la cuenca del Ebro hay 227.

¿Cómo funciona una estación de aforo?

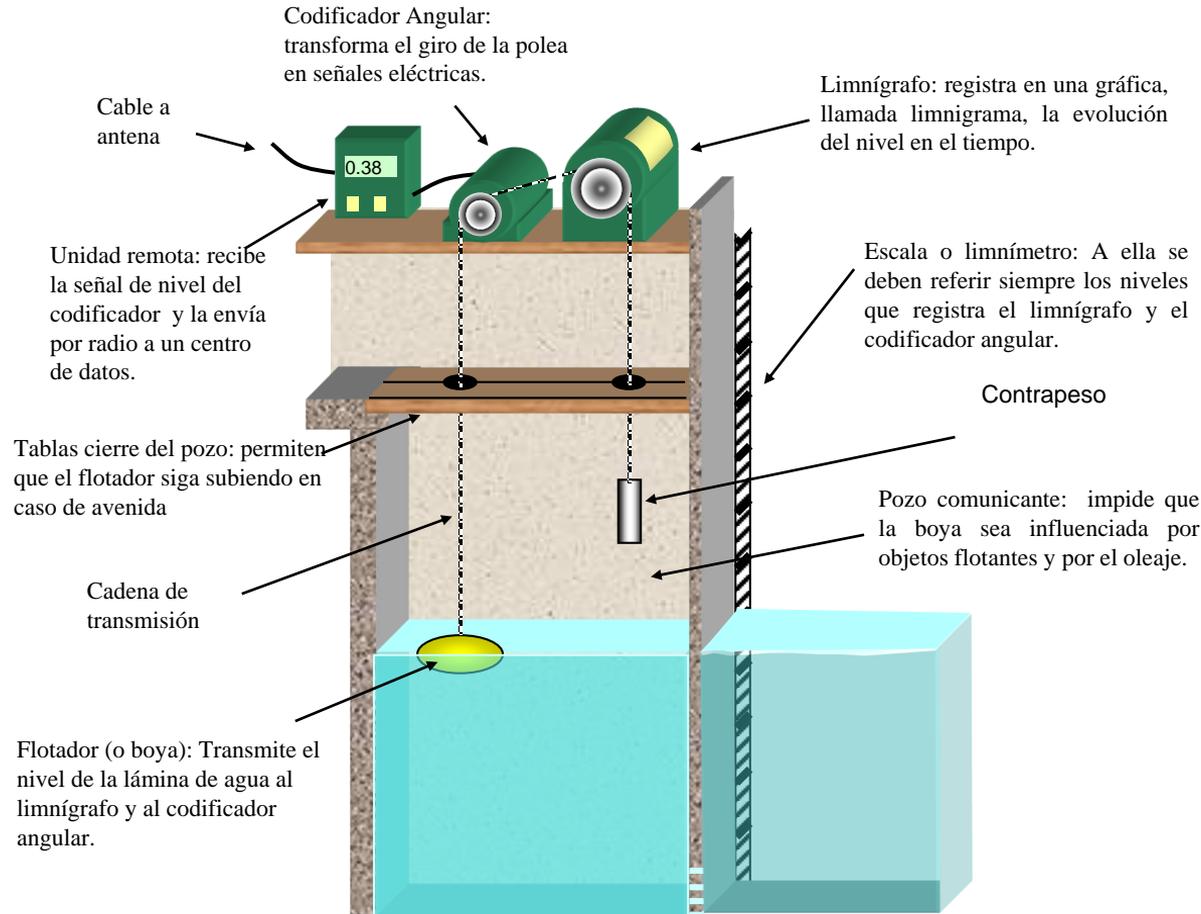
Las estaciones de aforo registran de manera continua la **altura** de la lámina de agua y la transmiten a un centro de control donde se le asigna un **caudal** según una “curva de gasto (altura-caudal)” específica para cada estación de aforo.

El caudal es el volumen de agua que circula por unidad de tiempo a través de una sección determinada. Se expresa en m^3/s y depende de la velocidad del agua y de la altura-anchura que ocupe (ej: manada en movimiento).

Esquema de una Estación de Aforos



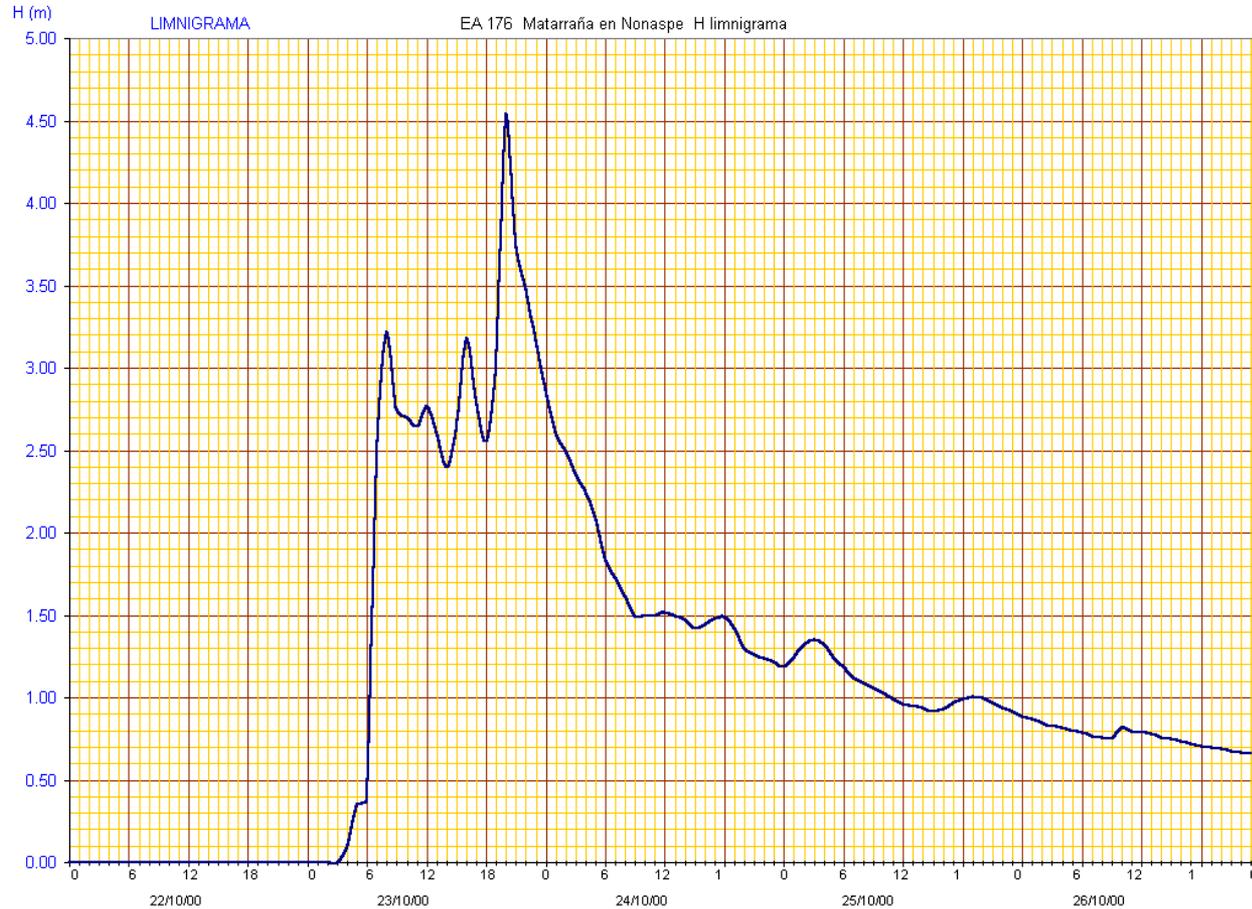
INSTRUMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE AFOROS



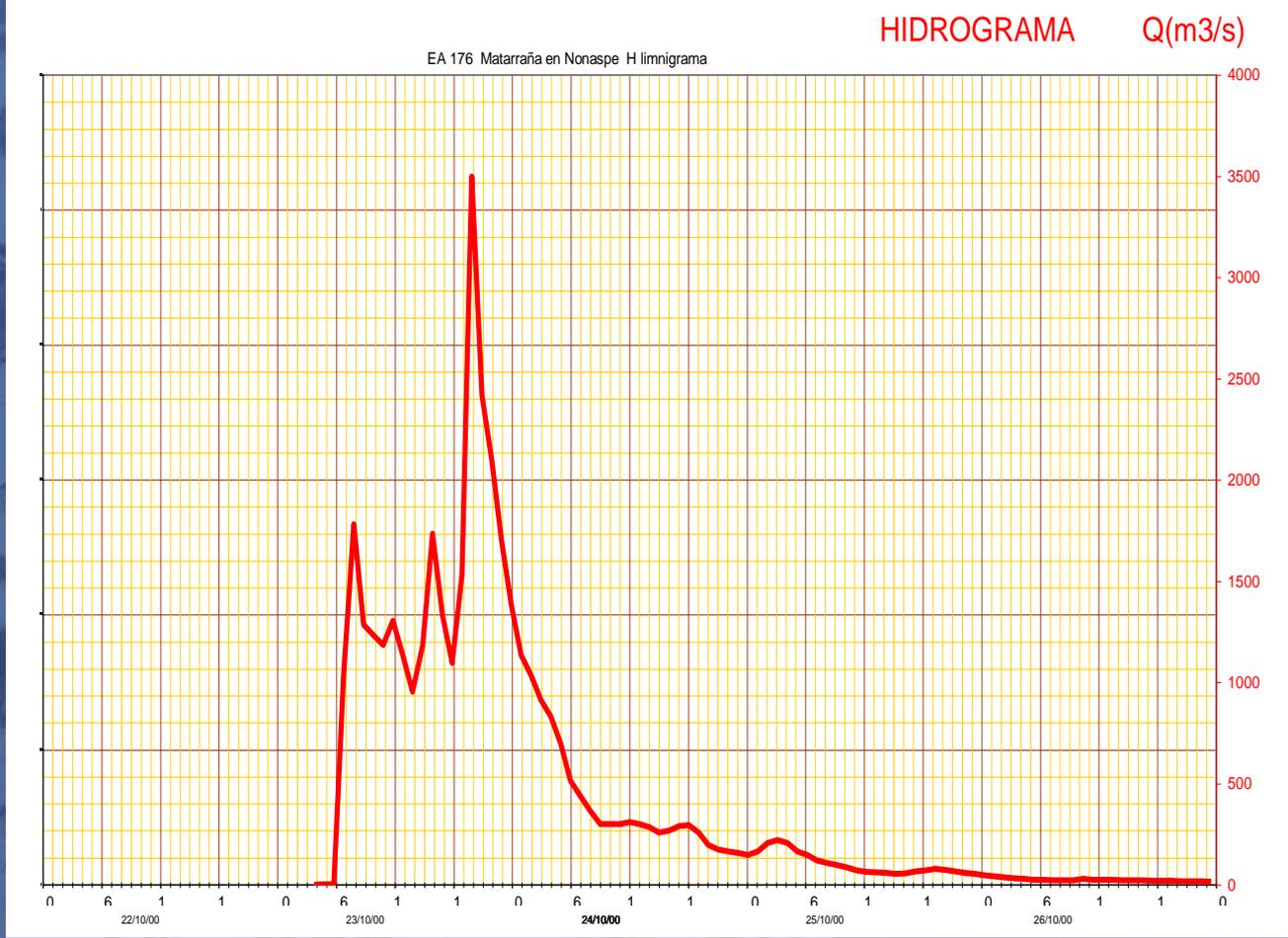
Los niveles medidos se refieren a una escala fija



Se registra la evolución de niveles en el tiempo



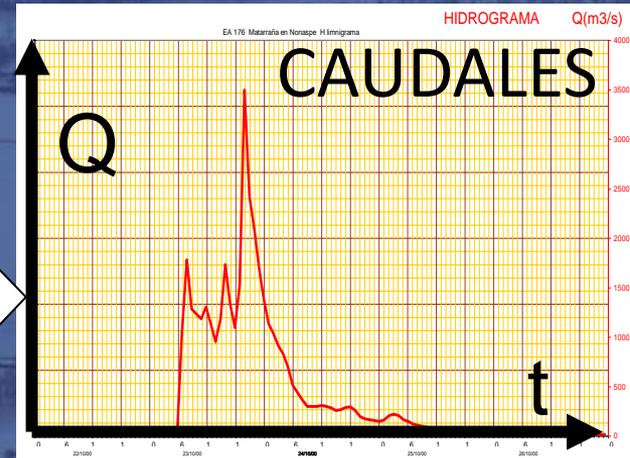
Pero queremos conocer también la evolución caudales.



Como obtener caudales a partir de los niveles



Curva de gasto



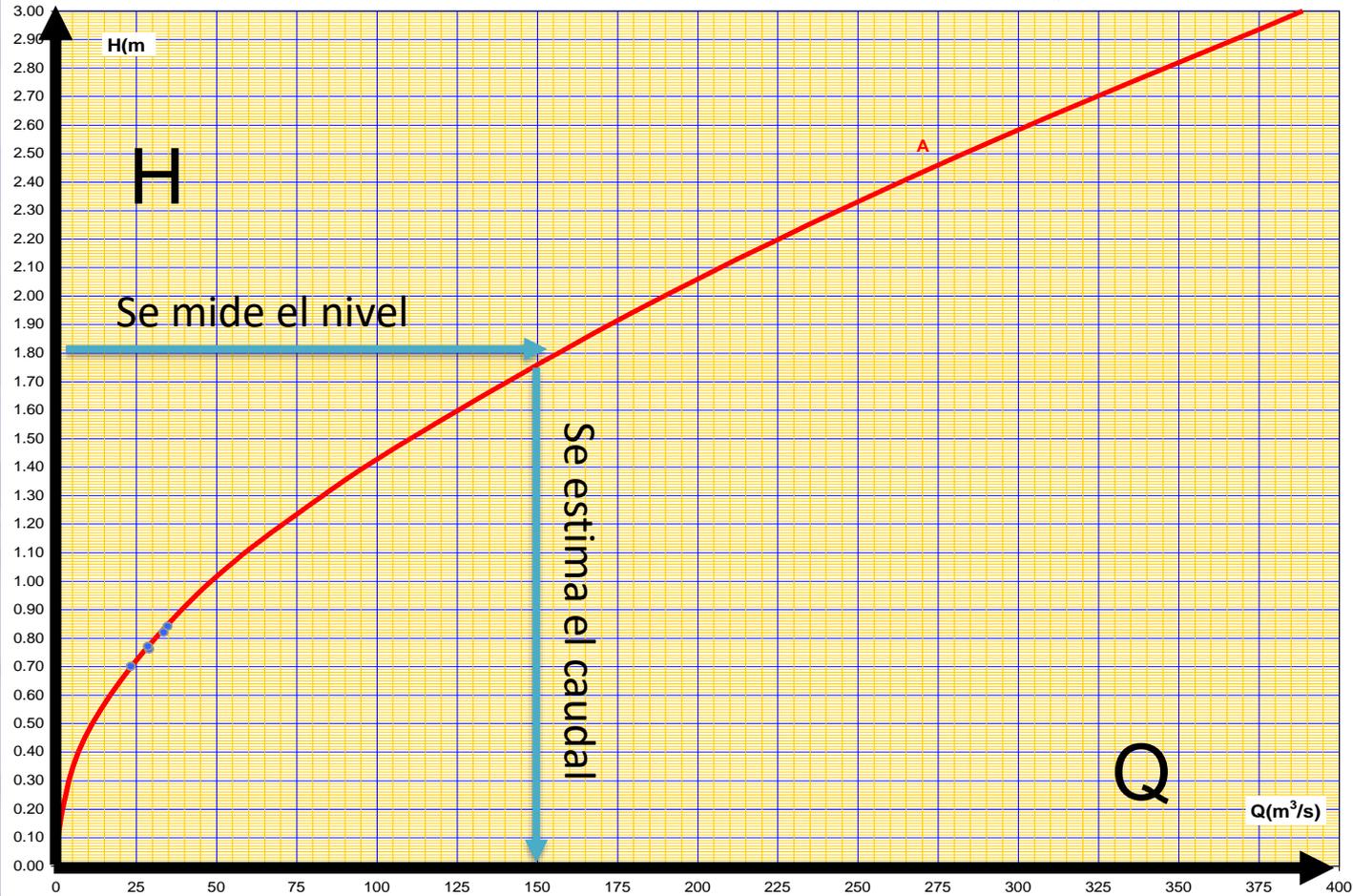
Como obtener caudales a partir de los niveles

EA nº 277 IRATI en AOIZ P.P.

Dibujado

21/10/2010

EBRO
RESILIENCE

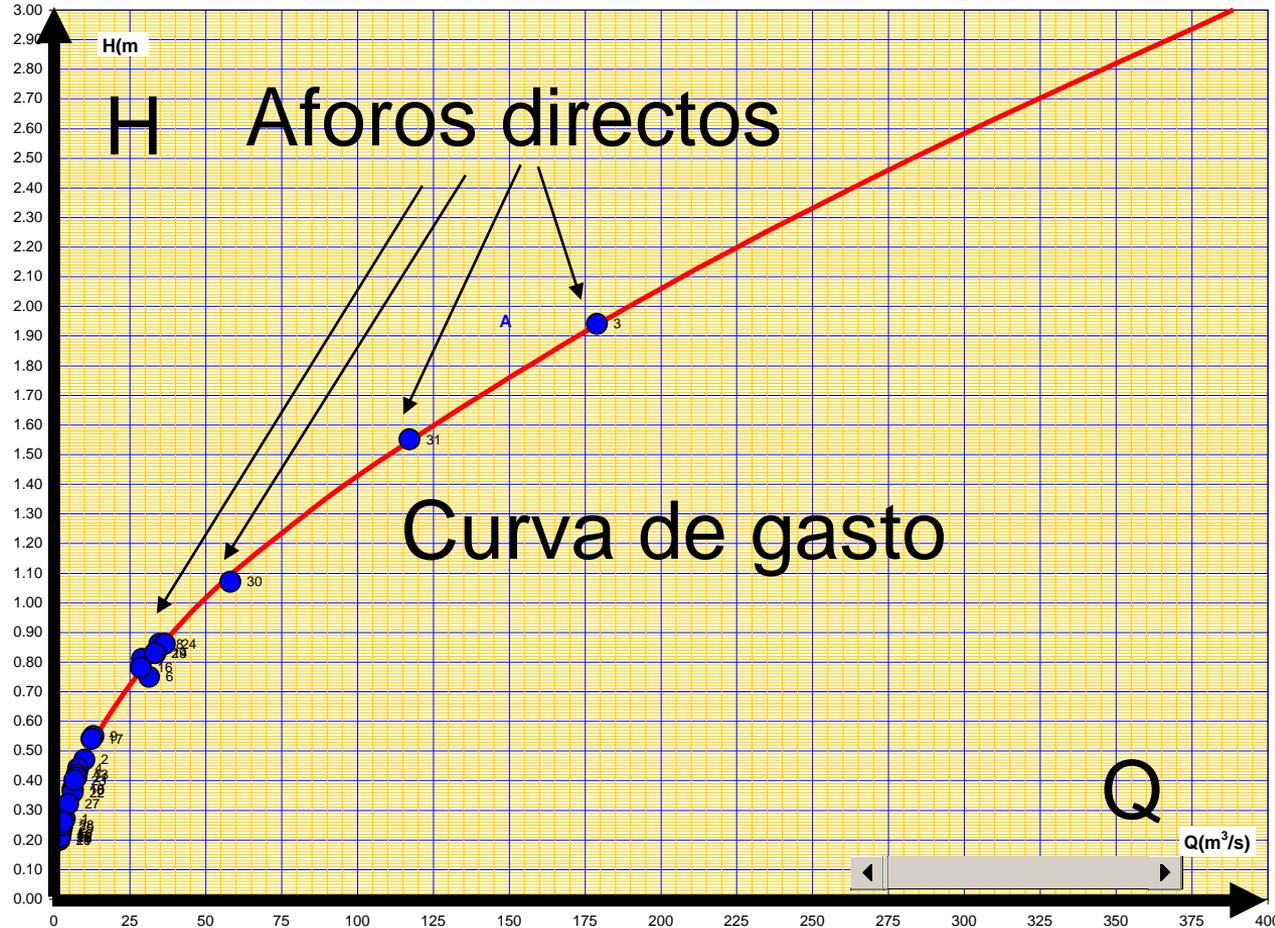


La curva de gasto relaciona Altura de escala (H) y Caudal (Q)



EA nº 277 IRATI en AOIZ P.P.

Dibujado 21/10/2010



¿Cómo se ajusta una curva de gasto (altura-caudal)?

La curva de gasto se establece inicialmente con criterios hidráulicos (pendiente, forma de la sección y rugosidad) y después se ajusta con **aforos directos**.

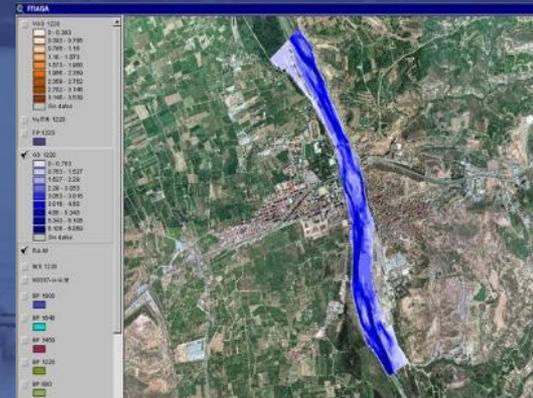
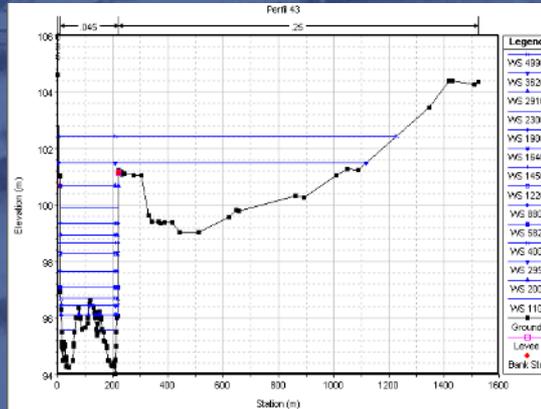
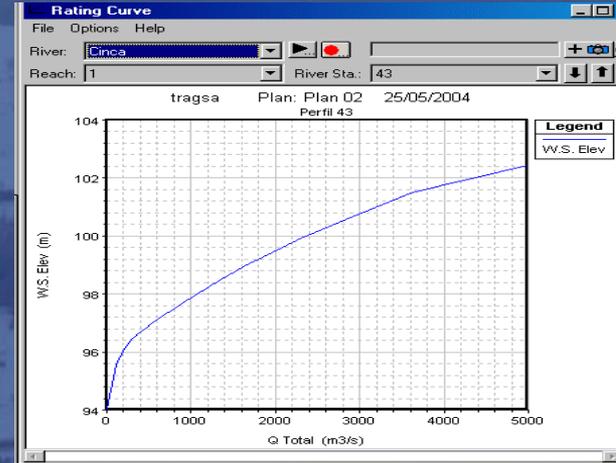
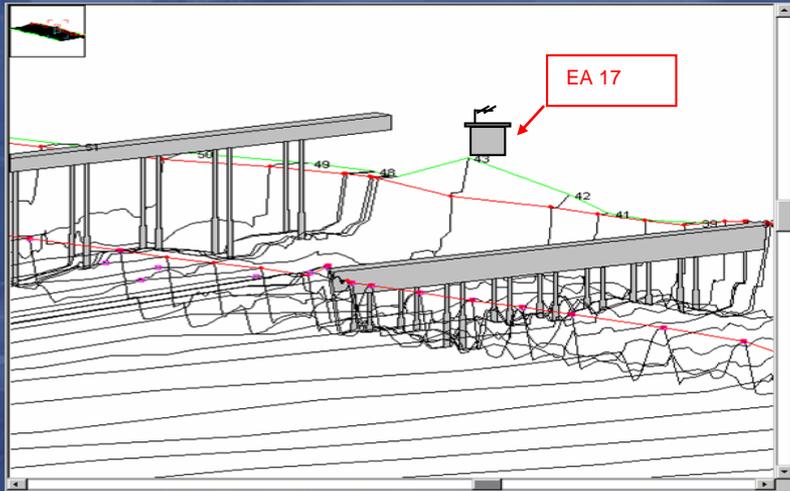
Los **aforos directos** son mediciones del caudal (Q) para distintas alturas del agua (H) que se realizan con instrumentos que miden la velocidad y la altura del agua en diversos puntos de la sección mojada.

Los aforos directos son datos puntuales (H, Q) que permiten ajustar mejor la curva de gasto.

En alturas bajas y medias, más frecuentes, se pueden realizar más mediciones. **En avenidas, los aforos directos son difíciles de obtener** (escasos y en condiciones adversas).



Criteria hidráulicos para el ajuste teórico de curvas de gasto

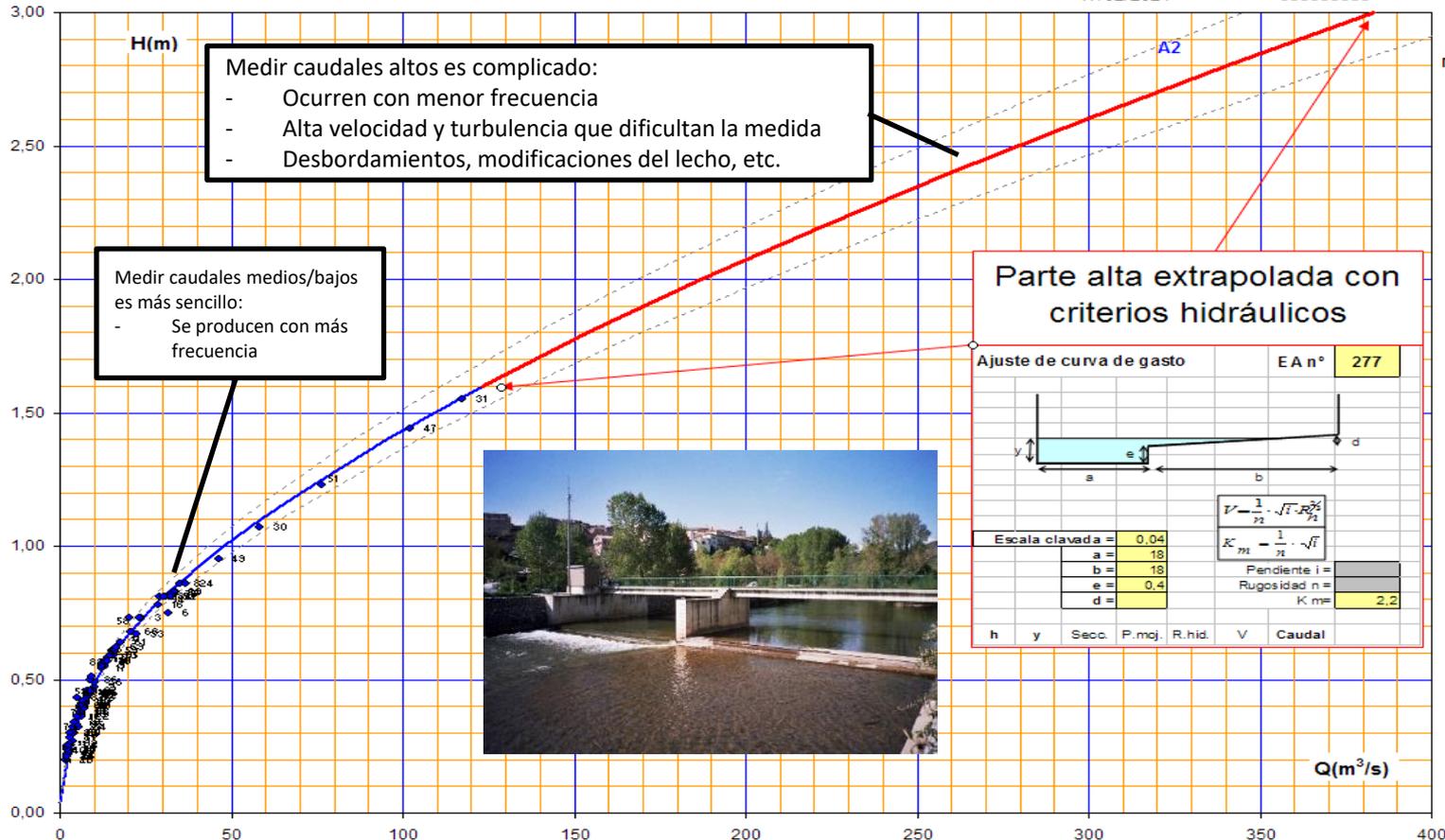


Los aforos directos permiten ajustar las curvas de gasto

EA nº 277, IRATI en AOIZ P.P.

Dibujado 17/02/2021

± 10%



Manning adjust

Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización

¿Qué importancia tienen las mediciones para caudales altos?

Los aforos directos durante las avenidas permiten reducir la incertidumbre de la curva de gasto para caudales altos.

¿Hay que actualizar las curvas de gasto (altura-caudal)?

Sí, las curvas de gasto deben actualizarse cuando se hayan producido **cambios** en el cauce o en la llanura de inundación que puedan afectar al caudal que circula por la estación de aforo. La morfología del río cambia.

El ajuste de la curva de gasto se comprueba periódicamente con nuevas mediciones directas de caudal (velocidades, alturas y anchura). Su validez es temporal.

Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro
caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización

- **INTRODUCCIÓN**
- **LAS ESTACIONES DE AFORO**
- **LOS AFOROS DIRECTOS**
- **LOS CAUDALES DEL RÍO EBRO EN SU TRAMO MEDIO**
- **RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS**

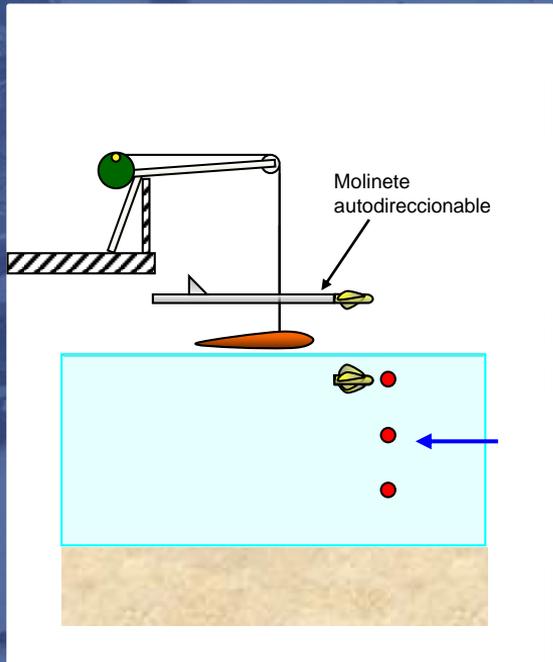
¿Qué es y cómo se realiza un aforo directo?

Los aforos directos son mediciones del caudal circulante en una sección de río en un momento determinado. Son los puntos altura-caudal (H-Q) que permiten ajustar la curva de gasto de una estación de aforo.

Cada aforo se realiza **midiendo la anchura total, las profundidades de la sección ocupada por el agua y la velocidad** de la corriente en numerosos puntos de toda la sección. La velocidad media del agua multiplicada por la sección total nos proporciona el caudal circulante.

Cuanto más aforos directos se tengan en una sección, mejor ajustada estará su curva de gasto (H-Q). Especialmente importantes son las mediciones de caudal para niveles altos durante las avenidas.

Técnica de los aforos directos con molinete desde puente o pasarela



Las mediciones con molinete son laboriosas, complicadas y peligrosas con caudales altos. En ocasiones, es imposible realizar la medición



Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro

caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización

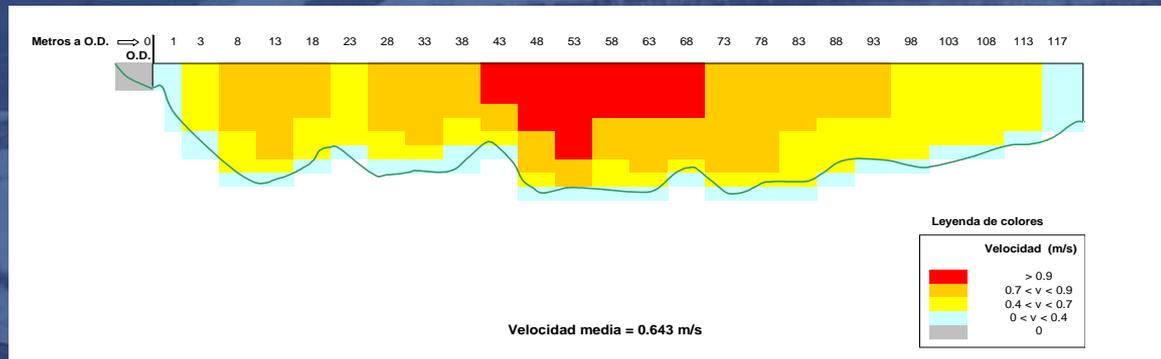
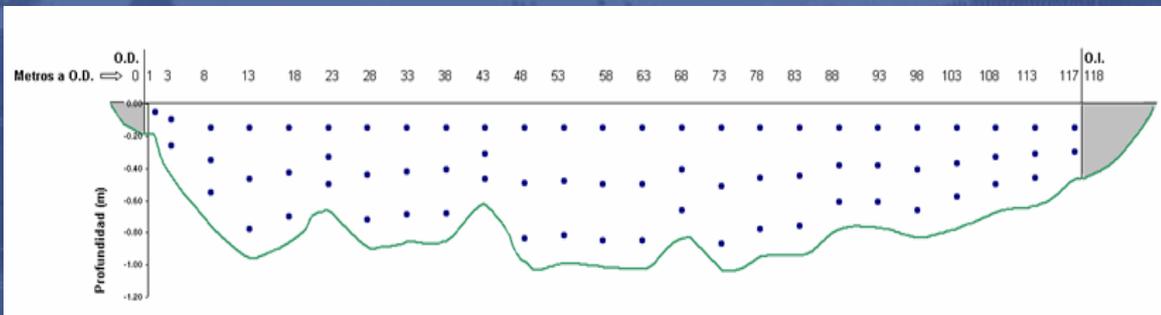
¿Cómo han evolucionado los sistemas de medición de caudales?

Antiguamente, y para grandes ríos sólo se podía medir la **velocidad en la superficie**, por lo que la velocidad media para toda la profundidad se obtenía a partir de una formulación teórica.

A partir de los años 30 del siglo XX se utilizan mayoritariamente los **molinetes** (hélices) que se introducen en la corriente para obtener velocidades del agua en numerosos puntos de la sección.

Desde inicios del siglo XXI, los sistemas de medición basados en **ultrasonidos** permiten conocer con rapidez cómo se distribuyen las velocidades en toda la sección (profundidad y anchura). Estas nuevas tecnologías facilitan mucho la medición completa con caudales altos, algo que era muy difícil con molinete.

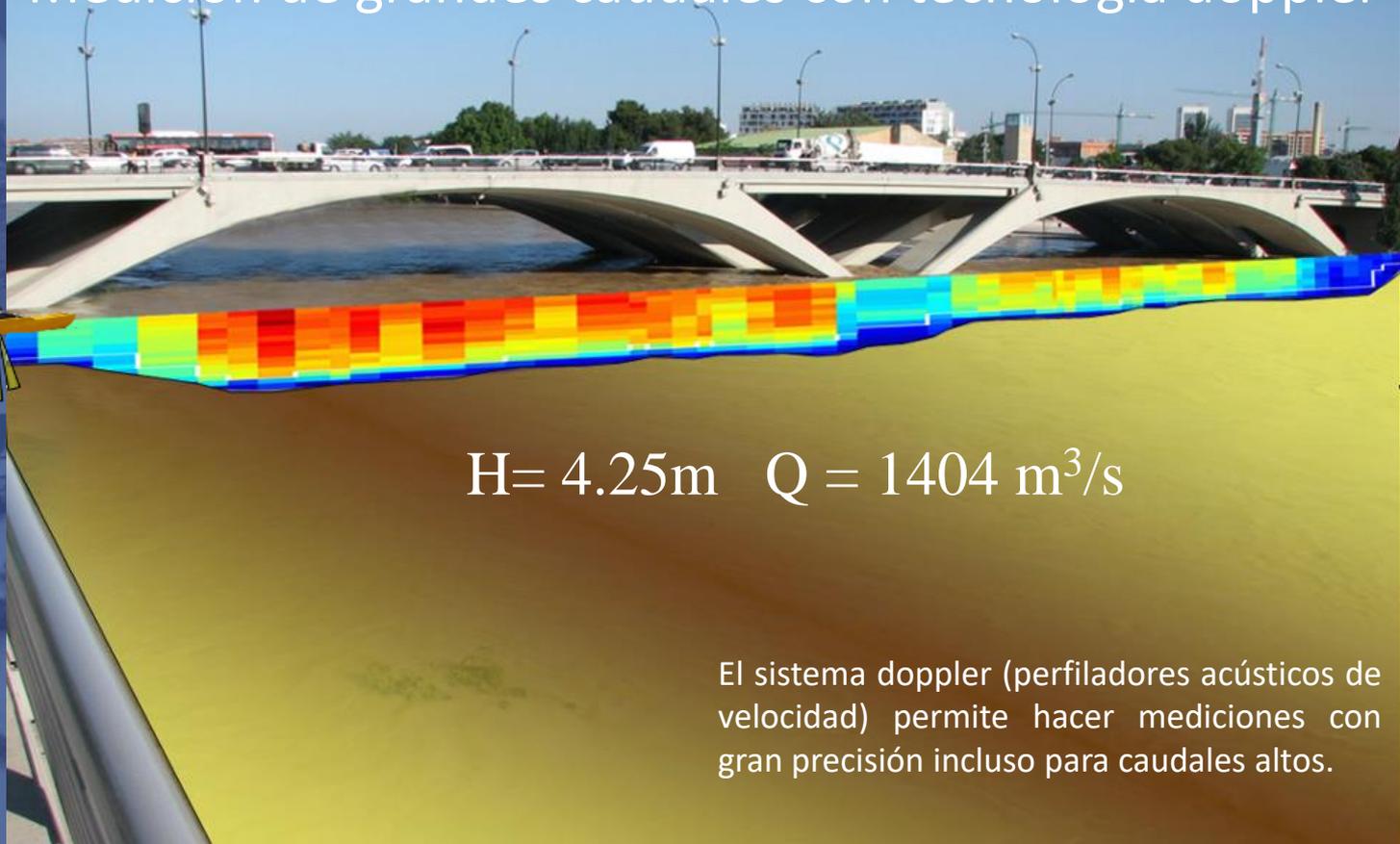
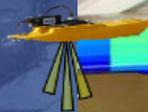
Técnica de los aforos directos con molinete desde un puente



Para tener una buena medición del caudal hay que medir la velocidad en muchos puntos. La velocidad es muy variable a lo largo de la sección del río. La más alta se registra en la parte superior y central del cauce y disminuye al acercarse al fondo y a las orillas.



Medición de grandes caudales con tecnología doppler



$$H = 4.25\text{m} \quad Q = 1404 \text{ m}^3/\text{s}$$

El sistema doppler (perfiladores acústicos de velocidad) permite hacer mediciones con gran precisión incluso para caudales altos.

Medición de grandes caudales con tecnología doppler desde teleférico



Ebro en Castejón

4/1/2006

H=4.38m Q = 720 m³/s

Medición de grandes caudales con tecnología doppler



Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro
caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización

- **INTRODUCCIÓN**
- **LAS ESTACIONES DE AFORO**
- **LOS AFOROS DIRECTOS**
- **LOS CAUDALES DEL RÍO EBRO EN SU TRAMO MEDIO**
- **RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS**

Las inundaciones son un fenómeno recurrente en el tramo medio del Ebro

1643



1871



1906



1923



1930



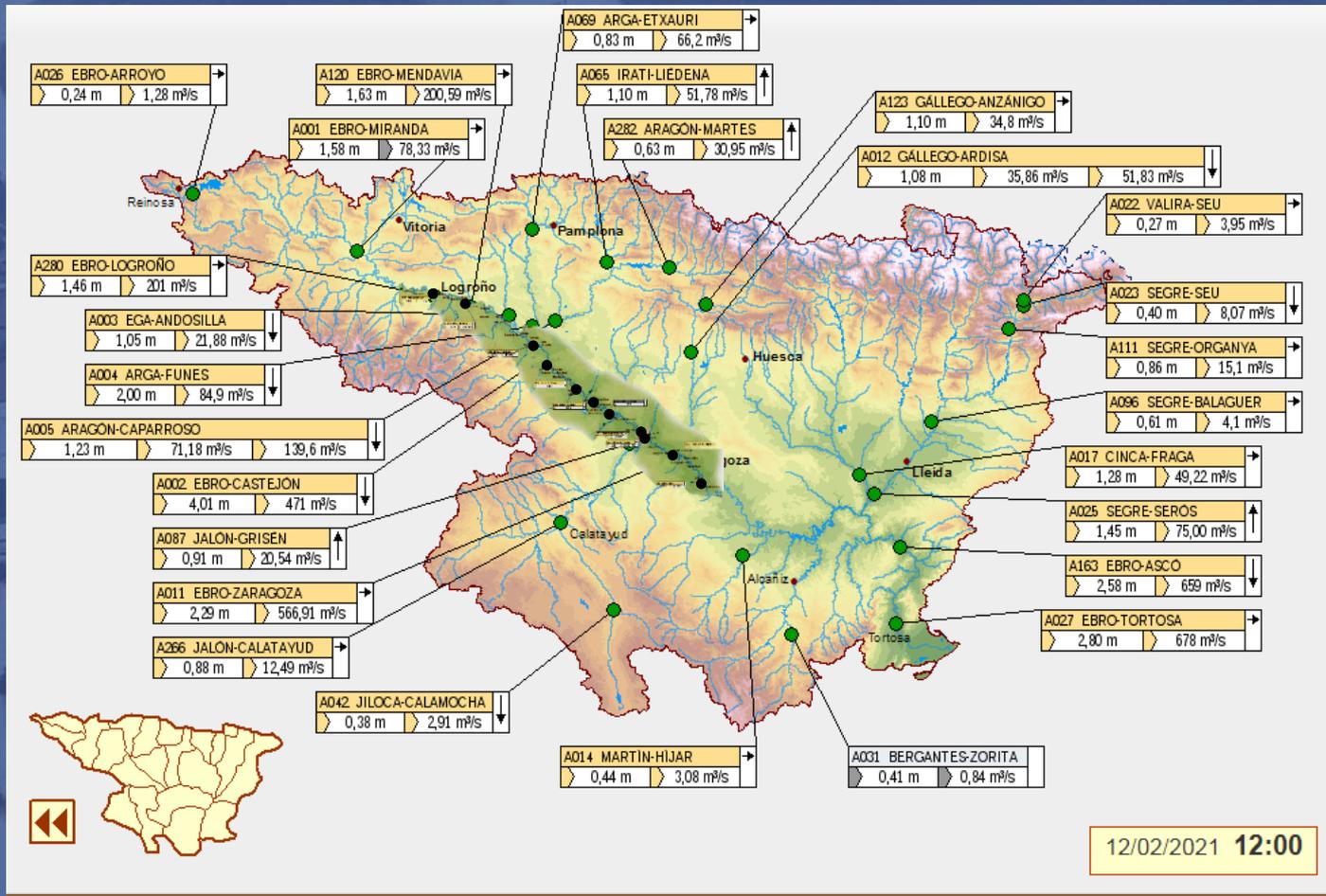
1932

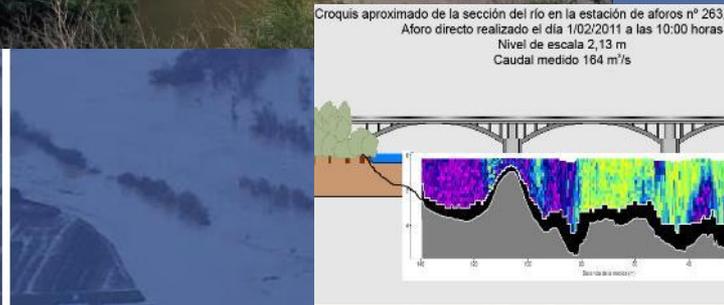


1936



ESTACIONES DE AFORO EN EL EJE MEDIO DEL RÍO EBRO



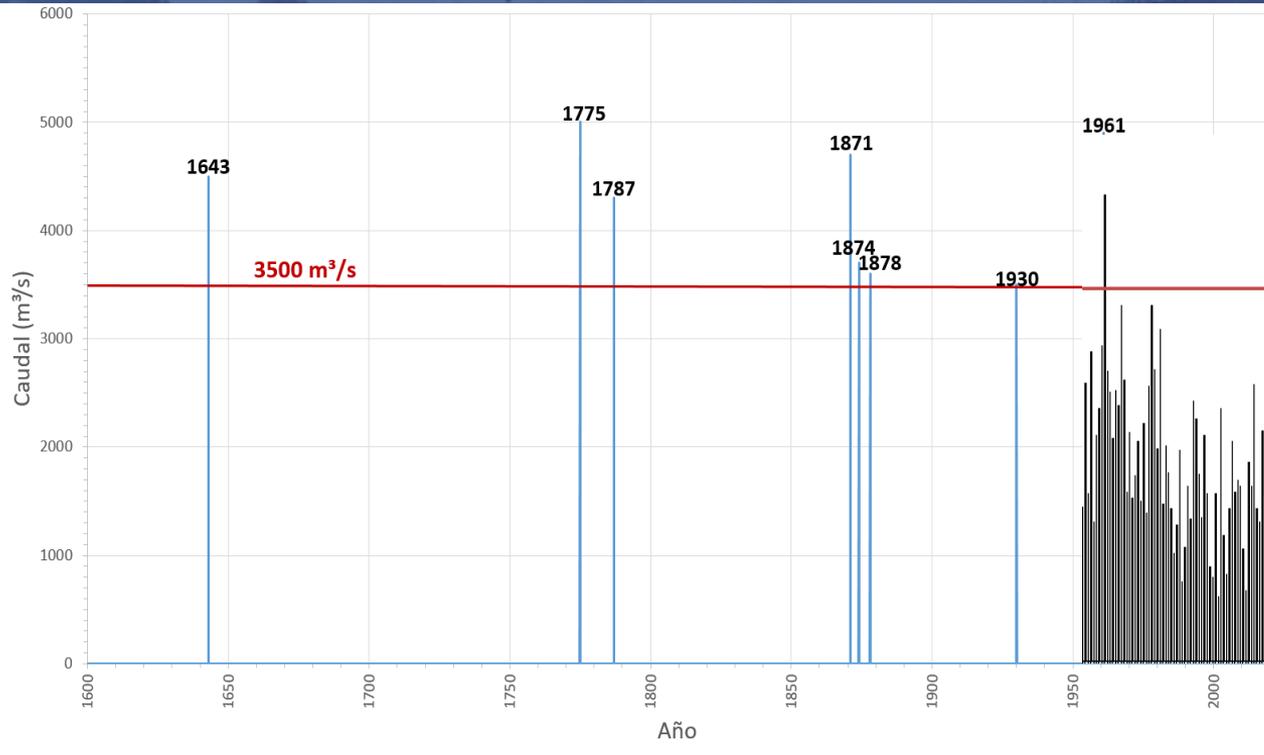


Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro

caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización



En el río Ebro se han registrado 1524 inundaciones en los últimos 400 años.



De las avenidas históricas sólo tenemos testimonio de las alturas que se alcanzaron.

A partir de estas alturas se puede hacer una estimación del caudal que circuló, pero con un alto grado de incertidumbre.

Se aprecian en cualquier caso ciclos en la frecuencia de aparición de las inundaciones.

Caudales históricos Ebro en Zaragoza
(Fuentes: C.Balasch y CHE)

Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización

Desde los años 40 del siglo XX, no solo el río Ebro y su llanura de inundación han sufrido **cambios significativos**, sino también las propias estaciones de aforo y las tecnologías de medición y ajuste.

Los importantes avances técnicos en la medición de caudales y, sobre todo, la posibilidad de medir avenidas en diversos episodios desde 2003 han permitido la **revisión y actualización de los valores de caudal máximo de las avenidas extraordinarias de los últimos 20 años.**

1956

Estación de aforo A002



2018

Estación de aforo A002



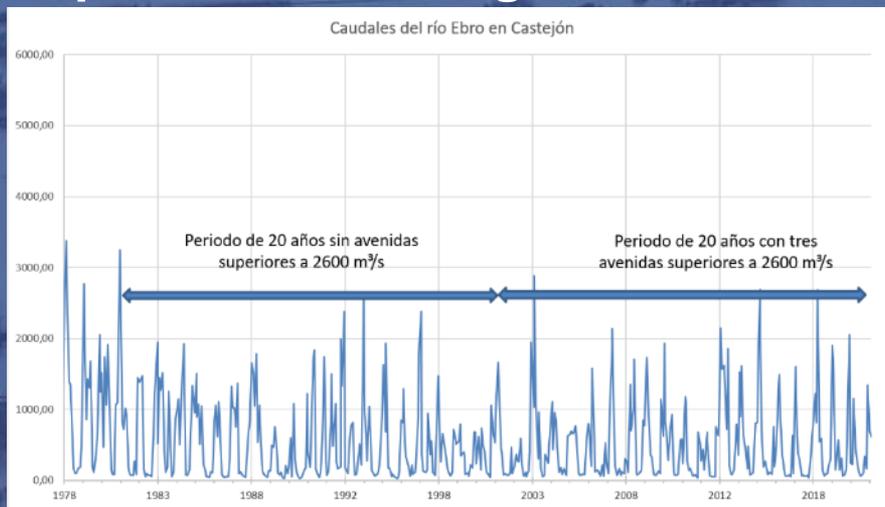
CUESTIONES CLAVE

¿Las avenidas de 2015 y 2018 han provocado los mismos daños que la de 2003 aunque tuvieran un caudal inferior?

NO, las avenidas de 2003, 2015 y 2018 han tenido caudales máximos similares.

¿Se están produciendo más inundaciones en las últimas dos décadas porque el río ha perdido capacidad de desagüe?

NO, desde la avenida de 1978 en la que se tuvo que evacuar Alcalá de Ebro, no ha habido avenidas que superen los 2600 m³/s en Castejón hasta 2003. Desde entonces hemos tenido tres.



Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro

caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización

Ebro en Castejón

Se han revisado los caudales máximos anuales de las estaciones de aforo de Castejón y Zaragoza desde 1997 hasta la actualidad.

Los caudales reales para este periodo son entorno a un 20% inferiores a los estimados inicialmente con curvas de gasto de hace 20 años que no se habían comprobado en su parte alta debido a la falta de mediciones de caudales altos.

Se han podido ajustar las series gracias a los aforos directos de caudales altos (facilitados por las nuevas tecnologías de medición) a partir del año 2003 y a los balances entre estaciones de aforo, como la de Tudela.

Fecha	Caudales validados. Anuario oficial de aforos (m ³ /s)	Caudales previos a la validación (m ³ /s)
20/12/1997	1372	1682
24/02/1999	791	1027
13/04/2000	737	963
06/03/2001	1566	1895
11/05/2002	592	790
06/02/2003	2847	3316
25/01/2004	1111	
23/04/2005	770	
12/03/2006	1604	
03/04/2007	2282	
02/06/2008	1797	
13/02/2009	1797	
16/01/2010	2054	
24/02/2011	1164	
07/11/2011	676	
21/01/2013	2203	
05/03/2014	1612	
27/02/2015	2691	
11/03/2016	1490	
17/01/2017	1606	
13/04/2018	2682	

14.04.2018

Estación de aforo A002
Ebro en Castejón



14.04.2018

Estación de aforo 9284
Ebro en Tudela

En los últimos años se está trabajando más con la estación de aforo de Tudela, ya que todo el caudal se concentra por el puente

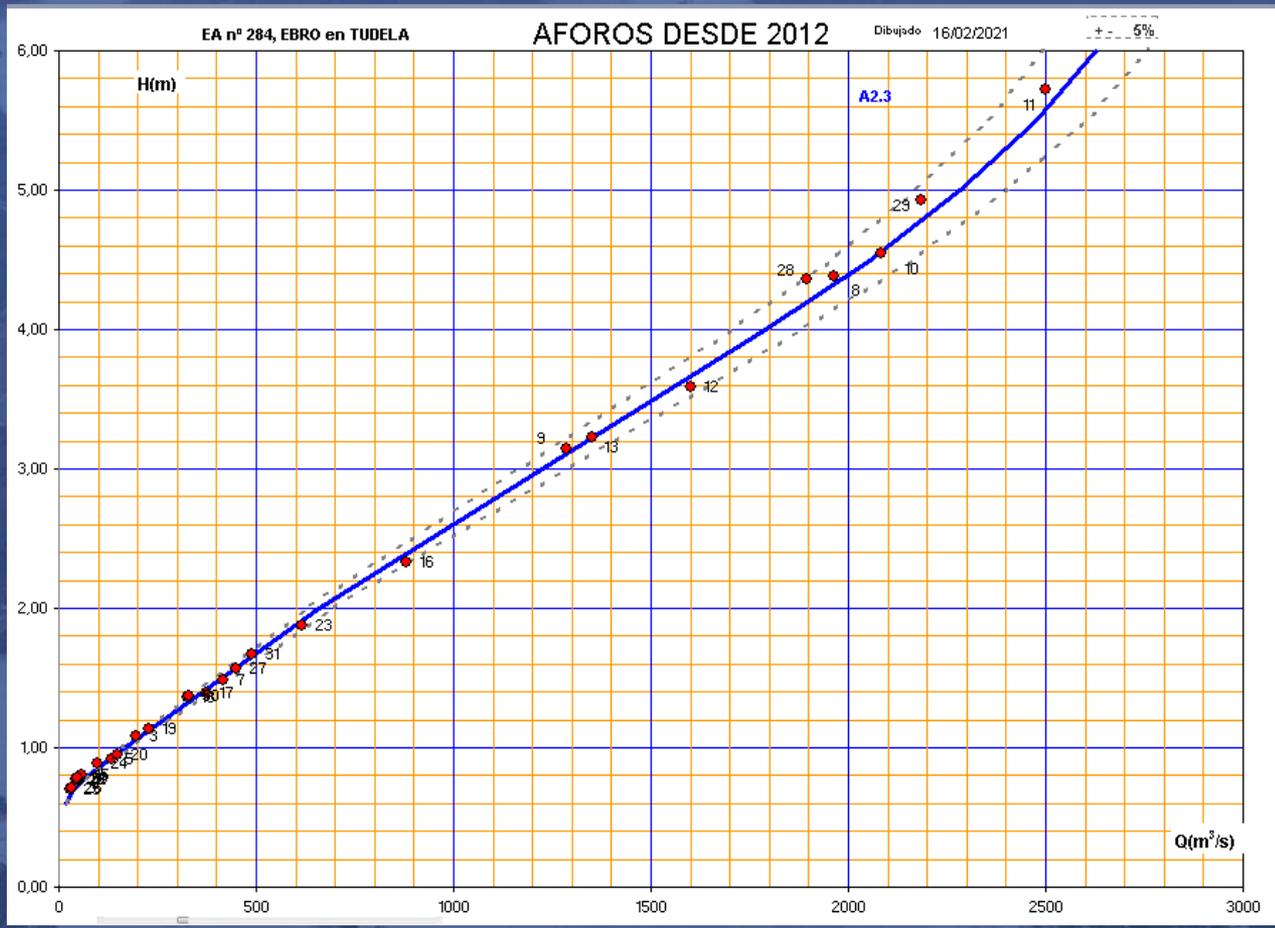


El análisis del tramo completo es fundamental para revisar los caudales máximos anuales y el volumen total de agua que aporta una avenida.

Este balance se realiza con las estaciones de aforo de Logroño, Castejón, Tudela, Zaragoza y otras de afluentes principales.



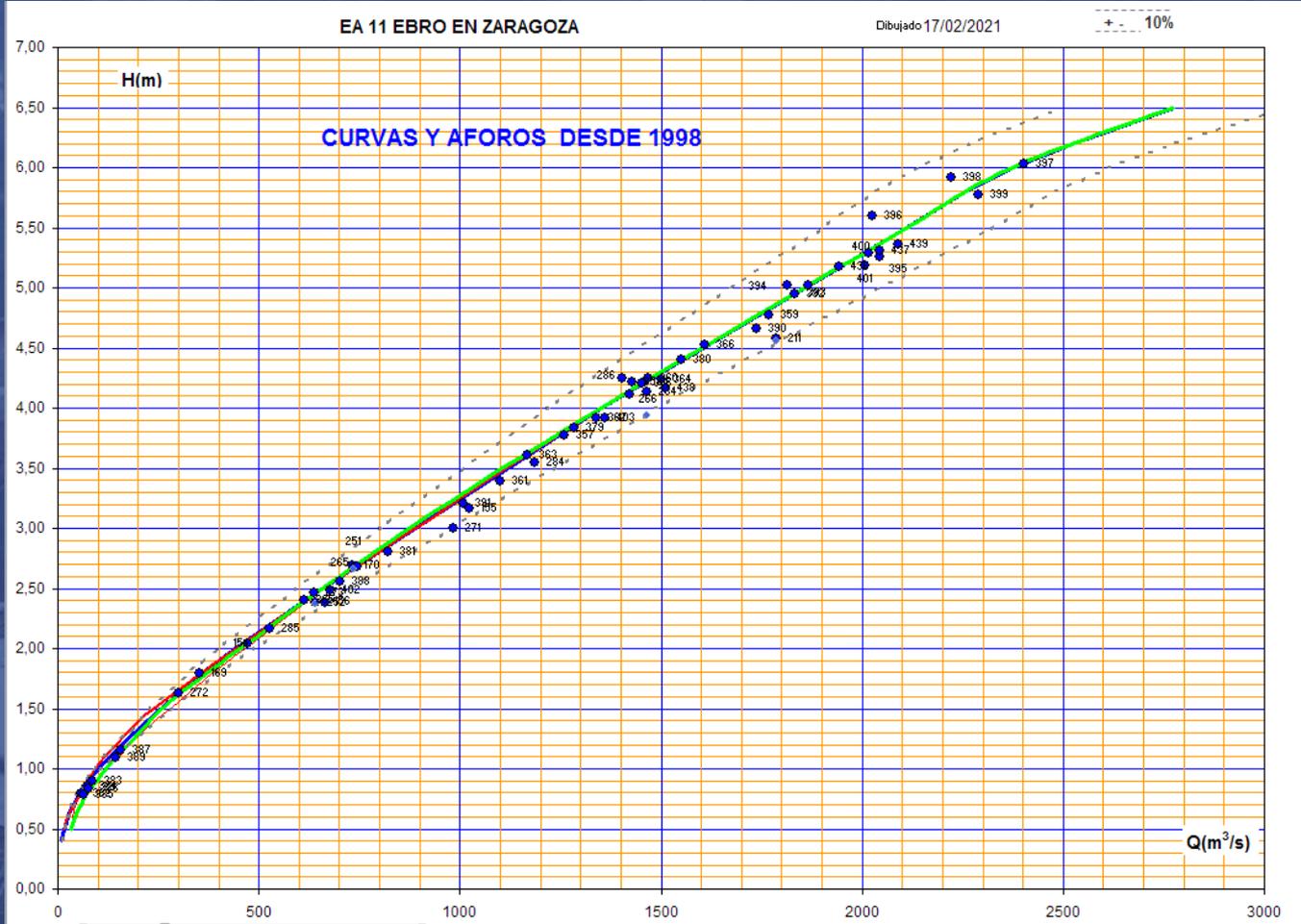
CURVA DE GASTO DE LA ESTACIÓN DE AFOROS DEL EBRO EN TUDELA



La estación del Ebro en Tudela presenta un comportamiento estable desde su puesta en marcha en 2012.

En caudales altos, Tudela es una referencia más fiable que la de Castejón, más afectada por desbordamientos en avenidas.

CURVA DE GASTO DE LA ESTACIÓN DE AFOROS DEL EBRO EN ZARAGOZA



La estación del Ebro en Zaragoza presenta un comportamiento estable desde finales del siglo XX debido a la configuración del tramo urbano en el que se ubica.

CURVA DE GASTO DE LA ESTACIÓN DE AFOROS DEL EBRO EN ZARAGOZA-EXPO

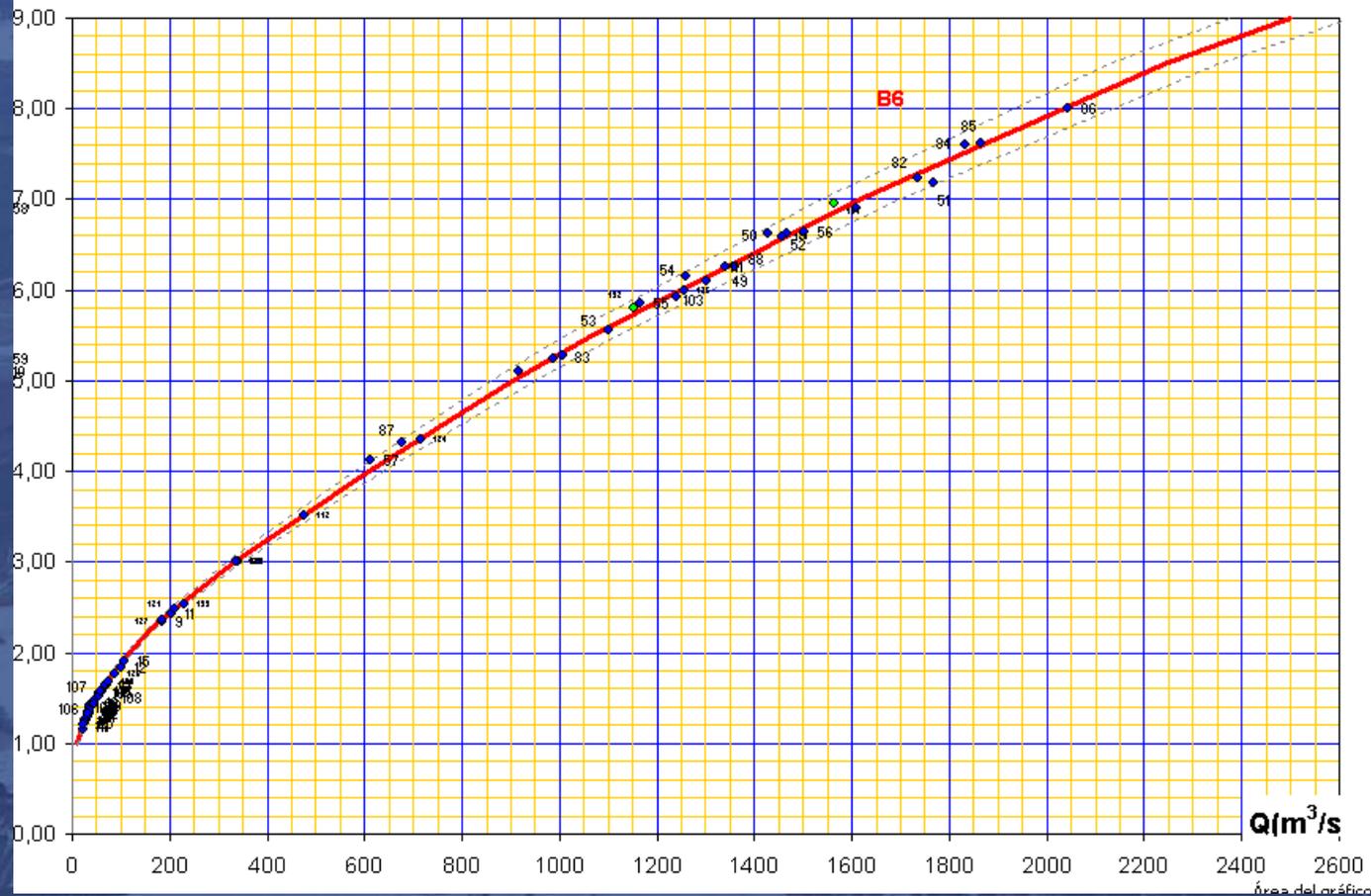


EA 311 EBRO EN ZARAGOZA-EXPO

AFOROS DESDE 2010

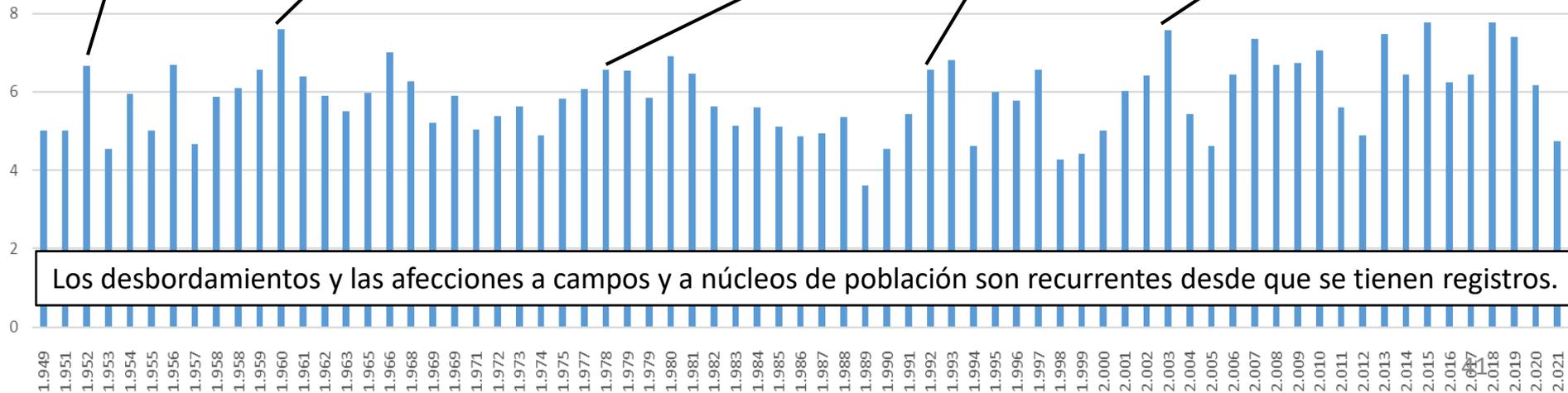
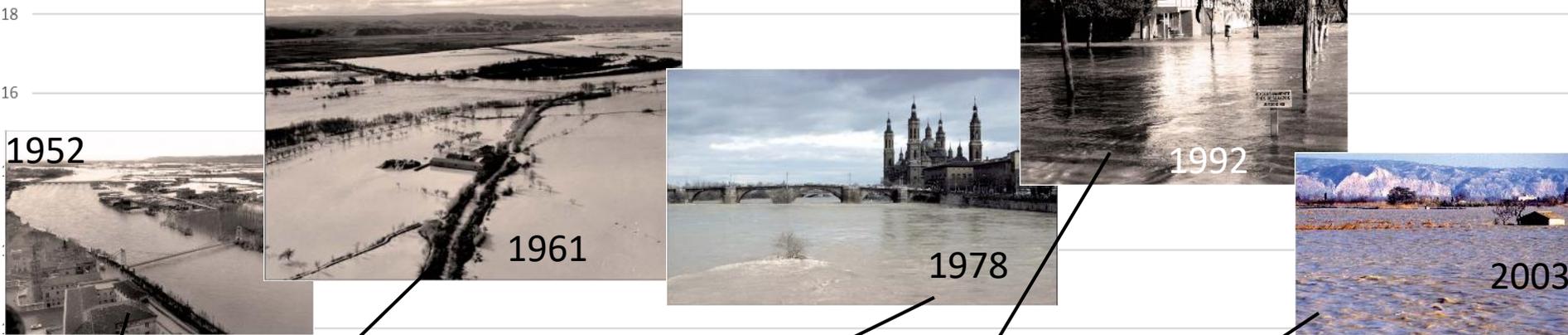
Dibujado 16/02/2021

± 5%



La nueva estación del Ebro en Zaragoza-Expo presenta un comportamiento muy estable desde su implantación en 2010. Sirve de apoyo para el aforo y la enseñanza.

Alturas del río Ebro en Castejón



Los desbordamientos y las afecciones a campos y a núcleos de población son recurrentes desde que se tienen registros.

Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro
caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización

- **INTRODUCCIÓN**
- **LAS ESTACIONES DE AFORO**
- **LOS AFOROS DIRECTOS**
- **LOS CAUDALES DEL RÍO EBRO EN SU TRAMO MEDIO**
- **RESUMEN DE CONCEPTOS BÁSICOS**

Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización

Las **estaciones de aforo** son instalaciones que miden la **altura** del agua (H) en una determinada sección del río referida a una **escala fija** allí situada.

Para obtener los **caudales** (Q) se aplica a cada altura observada (H) una **curva de gasto** (H-Q). Es una tabla de equivalencia específica de cada estación de aforo.

La curva de gasto se actualiza continuamente con nuevas mediciones directas de caudal (velocidades, alturas y anchura). Su validez es temporal, ya que el río cambia.

Los **aforos directos** son las mediciones de caudal que permiten ajustar la curva de gasto, puntos H-Q. Cuantos más puntos (aforos), mejor ajustada estará la curva. Son especialmente importantes para caudales altos.

Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro

caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización

Las avenidas son fenómenos naturales recurrentes e inevitables, consecuencia de la precipitación en extensas superficies de la cuenca del Ebro que hace crecer el caudal de diversos afluentes de ambas márgenes cuyas aguas confluyen en el tramo medio del río Ebro.

El **caudal máximo** de la crecida no es el único aspecto que la caracteriza, su **duración** y el **volumen total de agua** que circula (hidrograma) son también muy importantes, además del estado de humedad del suelo y otros factores diversos.

Los **niveles y caudales observados siempre son revisados** y ajustados tras cada crecida en cada estación de aforos.

La **incertidumbre** asociada a los datos de caudal en avenidas está en torno al 10% en el mejor de los casos.

Magnitud y frecuencia de las crecidas del Ebro

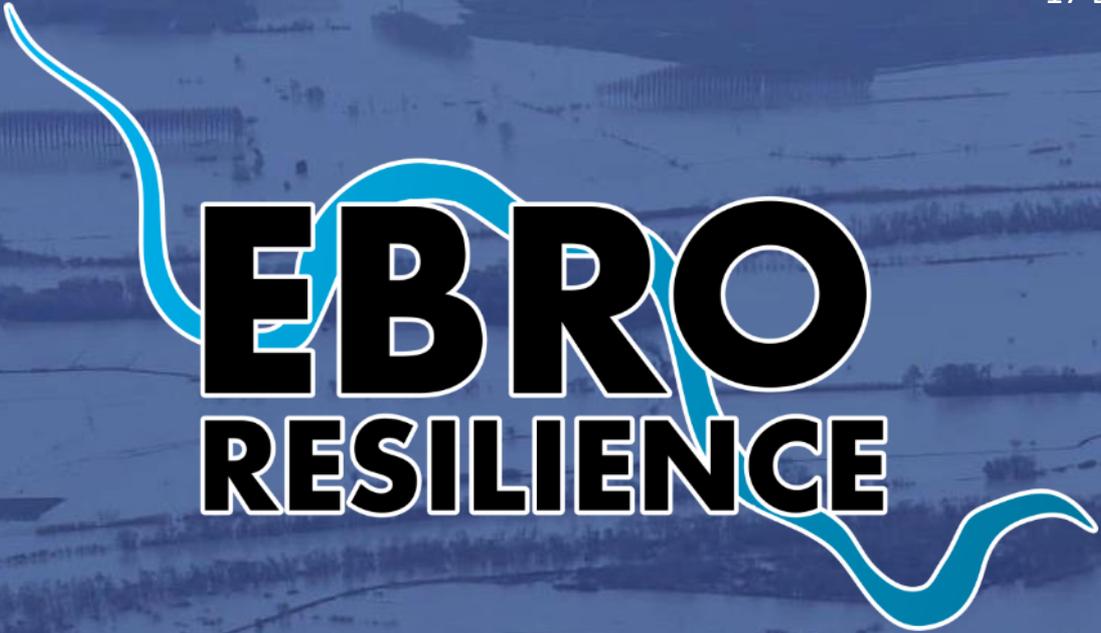
caudales en el tramo medio: estimación, medición y actualización

Hoy sólo hemos hablado del **conocimiento de los caudales** en avenidas a través de las estaciones de aforo en el tramo medio del río Ebro.

Para **gestionar un episodio de crecida** se necesitan además otros instrumentos como:

- El Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH): proporciona datos en tiempo real (15 min) de precipitación, nivel del agua en las estaciones de aforo, caudal, volumen de embalse, etc. Más de 1000 sensores con datos accesibles 24h/7d a todos los usuarios.
- El Sistema de Ayuda a la Decisión (SAD): conjunto de modelos que optimizan la toma de decisiones en la laminación de embalses y realizan previsiones de caudales a partir de las predicciones meteorológicas.
- Protocolo de avisos a Protección Civil.

17 DE FEBRERO DE 2021



EBRO RESILIENCE

MUCHAS GRACIAS