

## “Curvas H-Q: Estimación de Caudales Extremos Máximos”

Chavasse, Diana I.<sup>ab</sup>; Ochoa Huamaní, Nicole<sup>b</sup>, Pizzamus, Sofía.<sup>ab</sup>; Queizán, Ángel<sup>c</sup>, Gamino, Alicia<sup>c</sup>,

a Instituto Nacional del Agua, Argentina

b UTN Facultad Regional Buenos Aires, Argentina

c UTN Facultad Regional La Plata, Argentina

dchavasse@frba.utn.edu.ar

### Resumen

Las series de tiempo de caudales utilizadas en los análisis hidrológicos son inferidas a partir de series de observaciones regulares de alturas de niveles de agua sobre una escala y un modelo de transformación de alturas en caudales (curva HQ). Mediante aforos en una sección específica se obtiene un conjunto de observaciones de caudales asociados a alturas a las que se ajusta una curva HQ. Es frecuente la necesidad transformar en caudales alturas superiores a la altura máxima de aforo. Usualmente la normativa permite extrapolar la curva HQ dentro de ciertos límites.

Generalmente en una sección específica, para alturas de agua elevadas el Factor Hidráulico (FH) y la Velocidad Media (VM) tienden a estabilizarse. En este trabajo se estudia el comportamiento de estas variables con las alturas. Se observa que el FH es más estable que las VM y sintetiza mejor los procesos hidráulicos. Entonces, podría considerarse que las estimaciones de caudales con el FH serán más confiables que las realizadas con la VM. El conocimiento de las características hidráulicas de la descarga permite obtener, para alturas superiores a las alturas máximas de aforo, un modelo de transformación HQ basado en la física del proceso evitando extrapolaciones puramente analíticas y sin sentido físico. Este trabajo permitió extender los límites de lectura de escala en metros para la estimación de caudales en: La Gotera de 2,55 a 3,5; Los Altares 2,6 a 4,5; Ameghino de 2,98 a 3,95; Facundo de 2,36 a 4,15 y en Charles Führ de 5,95 a 6,33.

**Palabras clave:** Curva HQ, Factor Hidráulico, caudales extremos máximos.

### INTRODUCCIÓN

Como es sabido el agua es un recurso esencial en todo ecosistema y el caudal es una variable aleatoria, fundamental en el análisis de sistemas hídricos. Disponer de buenas estimaciones de caudales permite conocer y representar adecuadamente los distintos procesos del ciclo del agua en una cuenca.

La determinación de caudales en una sección se realiza mediante aforos donde se miden alturas de nivel de agua ( $h$ ) y velocidades. Para estimar caudales a partir de alturas de agua registradas se ajustan funciones llamadas curvas HQ. Es frecuente la necesidad transformar en caudales alturas superiores a la altura máxima de aforo. Usualmente la normativa permite extrapolar la curva HQ dentro de ciertos límites (Ministerio 2018) aunque esta práctica no se fundamenta en la física de los procesos que determinan los caudales y en consecuencia las estimaciones resulten poco confiables.

En este trabajo se estudia el comportamiento del Factor Hidráulico (FH) y de la Velocidad Media (VM)

en función de  $h$ , en estaciones de aforo donde se dispone de la batimetría de la sección transversal. Para alturas de escala superiores a las máximas registradas en los aforos, se proponen funciones de estimación de caudales fundamentadas en los procesos físicos que determinan los caudales evitando extrapolaciones puramente analíticas y sin sentido físico. Por último, este trabajo permite un mejor conocimiento y aprovechamiento de los recursos hídricos brindando sólidas herramientas tanto para tomadores de decisiones como para profesionales independientes.

### OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son:

Proponer: curvas H-Q de base física para el dominio de  $h > h_{m\acute{a}x}$  ( $h_{m\acute{a}x}$ : altura máxima registrada en los aforos considerados).

Aportar herramientas para tomadores de decisión y profesionales independientes, que permitan un mejor conocimiento y aprovechamiento de los Recursos Hídricos.

## UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES

Se analizaron estaciones de aforo ubicadas en las cuencas de los ríos Colorado, Chubut, Senguerr y Santa Cruz (Mapa).



## FUNDAMENTO CONCEPTUAL

Organizando la ecuación de Strickler Manning los caudales pueden presentarse como el producto de un Factor Geométrico  $FG = A(R_h)^{2/3}$  y un Factor Hidráulico  $FH = (I^{1/2})/n$   $Q = FG * FH$ , donde: A, área de la sección transversal;  $R_h$ , radio hidráulico; I, pendiente de energía; n, coeficiente de Manning, (V.T.Chow, 1994). Conocida la geometría de la sección puede conocerse FG y con la información de los aforos, resulta posible estimar FH. Para crecientes con tirantes considerables el FH tiende a un valor aproximadamente constante debido a que las irregularidades del lecho pierden influencia sobre la superficie del pelo del agua favoreciendo la estimación de caudales para alturas de escala superiores a las máximas aforadas.

Conocida la geometría de la sección es posible estimar el caudal con la VM y la superficie de la sección mojada (A),  $Q = VM * A$ , donde VM estaría concentrando toda la información de la hidráulica del proceso mientras que A la geometría. En algunas secciones es posible observar que para crecientes con alturas elevadas VM tiende a estabilizarse.

## METODOLOGÍA

Se estudiaron las series de aforos en las estaciones de interés con el propósito de identificar inconsistencias en la información y depurarlas.

Sobre las series depuradas se analizó el comportamiento con la altura del Factor Hidráulico y de la Velocidad Media.

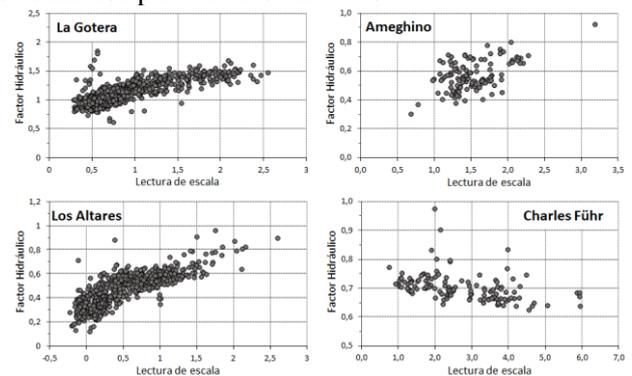
A partir de estos resultados se definieron las longitudes de las series de trabajo.

Se digitalizaron las secciones transversales, se estimaron las áreas (A) y los Factores Geométricos (FG) para distintas alturas de escala (h) y se ajustaron funciones  $A = a(h)$  y  $FG = g(h)$ .

Por último, se definieron las curvas de estimación de caudales extremos  $Q_{FH} = FG * FH$  y  $Q_{VM} = A * VM$  y sus rangos de aplicación.

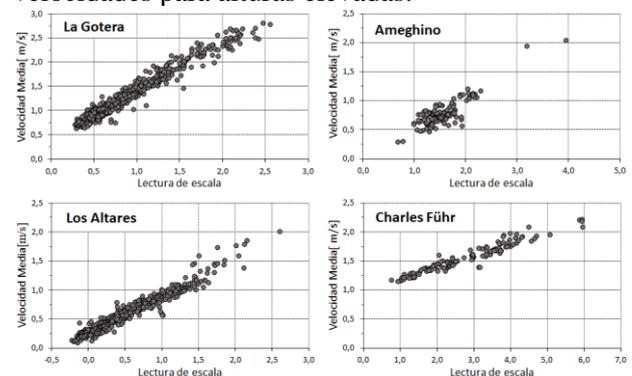
## ANÁLISIS DEL FACTOR HIDRÁULICO

En la figura se muestra la variabilidad del FH con la altura donde puede apreciarse una tendencia a estabilizarse para alturas elevadas.



## ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD MEDIA

En la figura se muestra la variabilidad de la VM con la altura. En los casos presentados no se observa claramente una tendencia a la estabilización de las velocidades para alturas elevadas.



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

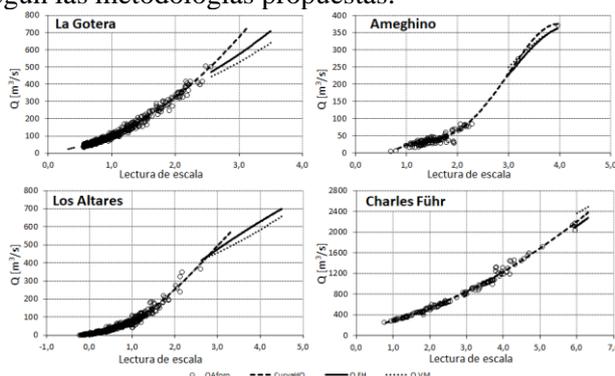
Se aplica la metodología propuesta en las estaciones La Gotera (río Grande), Ameghino y Los Altares (río Chubut), Facundo (río Senguerr) y Charles Führ (río Santa Cruz). En La Gotera FH tiende a 1,6 y VM a 2,75 m/s; en Ameghino FH tiende a 0,9 y VM a 2 m/s; en Los Altares FH tiende a 0,95 y VM a 2,2 m/s y en Charles Führ FH tiende a 0,67 y VM a 2,4 m/s. En Facundo no se observa la estabilización del FH ni de la VM y a partir del análisis de estaciones cercanas se proponen para FH 1,1 y para VM 1,6 m/s.

Las curvas H-Q formuladas en este trabajo están definidas para el dominio comprendido entre  $h_{m\acute{a}x} < h < h_{GeomM\acute{a}x}$  donde  $h_{m\acute{a}x}$  es la altura máxima registrada en los aforos y  $h_{GeomM\acute{a}x}$  es la altura máxima definida geoméricamente como un nivel de desborde.

Las expresiones y los rangos de aplicación de las mismas resultan:

La Gotera, rango: 2,55 m  $< h <$  3,5 m  
 $QFH = 1,6 * (22,639h^2 + 21,059h + 93,894)$   
 $QVM = 2,75 * (12,028h^2 + 2,474h + 77,428)$   
 Ameghino, rango: 2,98 m  $< h <$  3,95 m  
 $QFH = 0,9 * (-45,794h^3 + 407,503h^2 - 1006,158h + 839,738)$   
 $QVM = 2 * (-12,373h^3 + 106,638h^2 - 230,844h + 191,593)$   
 Los Altares, rango: 2,6 m  $< h <$  4,5 m  
 $QFH = 0,95 * (-8,868h^2 + 223,53h - 88,21)$   
 $QVM = 2,2 * (7,096h^2 + 8,438h + 118,756)$   
 Charles Führ, rango: 5,95 m  $< h <$  6,33 m  
 $QFH = 0,67 * (749,162h - 1334,588)$   
 $QVM = 2,4 * (170,393h - 39,777)$

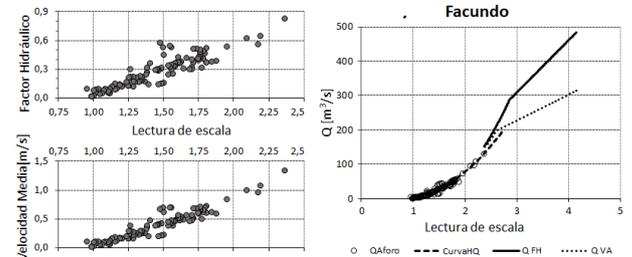
La figura muestra las nubes de aforo, las curvas HQ (hasta sus límites de extrapolación) y las estimaciones según las metodologías propuestas.



Como en la estación Facundo no se estabilizan el FH ni la VM se propone una función FH(h) para  $FH < 1,1$  y una VM(h) para  $VM < 1,6$ . Las expresiones resultan:

rango: 2,36 m  $< h <$  2,86 m  
 $QFH = (0,6468h - 0,752) * (138,208h - 133,924)$   
 rango: 2,87 m  $< h <$  4,15 m

$QFH = 1,1 * (138,208h - 133,924)$   
 rango: 2,36 m  $< h <$  2,61 m  
 $QVM = (1,18h - 1,49) * (47,098h + 0,883)$   
 rango: 2,62 m  $< h <$  4,15 m  
 $QVM = 1,6 * (47,098h + 0,883)$



## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La estimación de caudales para h superiores a las máximas lecturas de escala del registro de aforos según la metodología propuesta, permite fundamentar las estimaciones en los procesos físicos que determinan los caudales.

En La Gotera y Los Altares puede apreciarse que la extrapolación de la curva HQ tiende a sobrestimar los caudales mientras que en Ameghino y especialmente en Charles Führ los caudales estimados por mediante la extrapolación de las curvas HQ acompañan a las estimaciones de base física propuestas en este trabajo.

Del análisis del comportamiento de las variables VM y FH surge que FH es más estable especialmente para h elevadas y sintetiza mejor los procesos hidráulicos en la sección. Por este motivo podría considerarse que las estimaciones con el FH serán más confiables que las realizadas con la VM.

La extrapolación de caudales a partir de la curva HQ, introduce mayor incertidumbre ya que es estimada analíticamente sin incorporar información de los procesos físicos que intervienen y es aplicada fuera de su rango de ajuste.

## BIBLIOGRAFÍA

Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda, (2018). "Obra: Red Hidrológica Nacional, Período 2018 – 2023." Título III – Pliego de Especificaciones Técnicas Generales 5.4. Curva de descarga y generación de caudales, pp. 53-54.

Ven T Chow, 1994: Hidráulica de los Canales Abiertos. Mc Graw-Hill.

**Palabras clave:** Curva HQ, Factor Hidráulico, caudales extremos máximos.