

AUTORIDAD INTERJURISDICCIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS
LIMAY, NEUQUÉN Y NEGRO



Publicaciones SOyF

Mediciones de Caudales

Secretaría de Operaciones y Fiscalización

27/11/2018

INTRODUCCIÓN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ATRIBUCIONES Y ACTIVIDADES DE LA AIC.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
RED DE MONITOREO	2
MEDICIONES DE CAUDALES.....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
AFOROS DIRECTOS.....	3
ESTACIONES DE AFORO.....	5
TÉCNICAS DE AFORO DIRECTO.....	7
AFOROS DIRECTOS CON MOLINETE.....	7
METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE MEDICIÓN DE CAUDAL.....	9
AFOROS DIRECTOS CON TECNOLOGÍA ADP.....	12
METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE MEDICIÓN DE CAUDAL.....	13
CURVAS RELACIÓN ALTURA – CAUDAL (CURVAS HQ).....	13
MEDICIONES DE CAUDALES ENTRANTES Y SALIENTES DEL COMPLEJO CERROS COLORADOS.....	14
COMPLEJO CERROS COLORADOS.....	14
SECCIONES DE AFOROS.....	15
CURVAS HQ DE SECCIONES DE AFORO.....	18
PERFILES DE RÍOS – BATIMETRÍA.....	19
VELOCIDADES DE RÍOS.....	19

Marco Institucional.

Dentro de las atribuciones que le fueron otorgadas en su Estatuto a la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC), se encuentra la de “Centralizar la información existente y futura en relación al recurso referida a datos meteorológicos, hidrográficos, hidrométricos, hidrogeológicos o cualquier otro que fuera necesario”.

Posteriormente, los contratos de Concesión de las Hidroeléctricas de la Cuenca, la proclamaron como Autoridad de Aplicación del Manejo de Aguas y Protección Ambiental, y a través de su representación en el ORSEP, de la Seguridad de Presas.

En este marco se realizan las actividades de relevamiento y procesamiento de información hidrometeorológica y de embalses, particularmente la medición de alturas y caudales a las que nos referimos en el presente artículo.

Red de monitoreo

La AIC cuenta con una red de estaciones hidrometeorológicas en la cuenca, mayormente distribuida en la franja de la misma en la que se producen las precipitaciones que alimentan a los ríos. En general miden y transmiten variables relacionadas con el ciclo hidrológico (Precipitación, temperatura, caudales, viento, etc.). Toda la información relevada se centraliza en su base de datos.



Además de las otras variables que antes mencionáramos, el conocimiento de los de la magnitud del volumen de agua que circula por el río en una unidad de tiempo (el caudal) es un elemento básico para la gestión del recurso hídrico. Necesitamos saber de cuánta agua podemos disponer para abastecer todos los usos, y necesitamos

además realizar el pronóstico y seguimiento de las crecidas para garantizar la Protección Ciudadana.

La medición de caudales (denominada aforo) se realiza normalmente en sitios predeterminados de un curso de agua, que pueden, o no, contar con instalaciones fijas denominadas estaciones de aforos. La AIC cuenta con 66 estaciones de aforos.

En una estación de aforo, el control y calibración de las relaciones de altura de río y caudal, se realiza mediante la medición de aforos directos. Los mismos se realizan con dos técnicas diferentes; Aforos directos con molinete o Aforos directos con tecnología ADP.

La AIC cuenca con una red básica de monitoreo hidrometeorológico en la región. La misma tiene dos objetivos primordiales:

a- Recolectar información básica para el conocimiento de las condiciones climáticas (régimen de lluvias y factores meteorológicos) y la disponibilidad real del recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo.

b- Considerar según las condiciones físicas y meteorológicas de las diferentes zonas, las necesidades potenciales de los usuarios de la cuenca. (Ej: disponibilidad de agua para uso doméstico, soporte agrícola, abastecimiento de necesidades de riego, industrial, etc.)

Mediciones de caudales.

Introducción.

El objetivo de la medición de caudales es el seguimiento de las crecidas para realizar previsiones y actuaciones encaminadas a minimizar los daños causados por las mismas. También, su importancia en la gestión de los recursos hídricos con el fin de optimizar su asignación y explotación.

La hidrometría proporciona los datos de nivel y caudal requeridos para la elaboración de las series estadísticas que, entre otras aplicaciones, permiten realizar una adecuada planificación hidrológica, estudios de inundabilidad o el dimensionamiento de obras hidráulicas e infraestructuras relacionadas con los cauces.

Asimismo la transmisión de los datos en tiempo real a la Secretaría de Operaciones y Fiscalización de la AIC, posibilita el seguimiento y control de los caudales circulantes tanto en situaciones normales, como en crecidas.

La medición y registro de los niveles de agua en los cauces y sus caudales correspondientes se lleva a cabo mediante unas instalaciones fijas denominadas estaciones de aforo. La naturaleza cambiante de los cauces fluviales requiere establecer un calibrado sistemático en las estaciones de aforo de la relación altura-caudal (H-Q) mediante la realización de aforos directos.

Aforos Directos

Los aforos directos son las mediciones directas del caudal circulante por un cauce (natural o artificial), en una sección determinada y en un instante concreto, referido éste, a la altura del pelo de agua registrada en una escala limnimétrica fija.

El resultado, tras realizar las operaciones de toma de datos en campo (distancias y velocidades) y el cálculo posterior de los caudales totales correspondientes, es un par de valores (H, Q) que representa un punto de la curva de caudales en la sección aforada. Es decir, mediante el aforo directo se obtiene el caudal (Q) que circula con una altura (H) (referida a una escala limnimétrica fija) en un instante determinado por la sección de aforo.

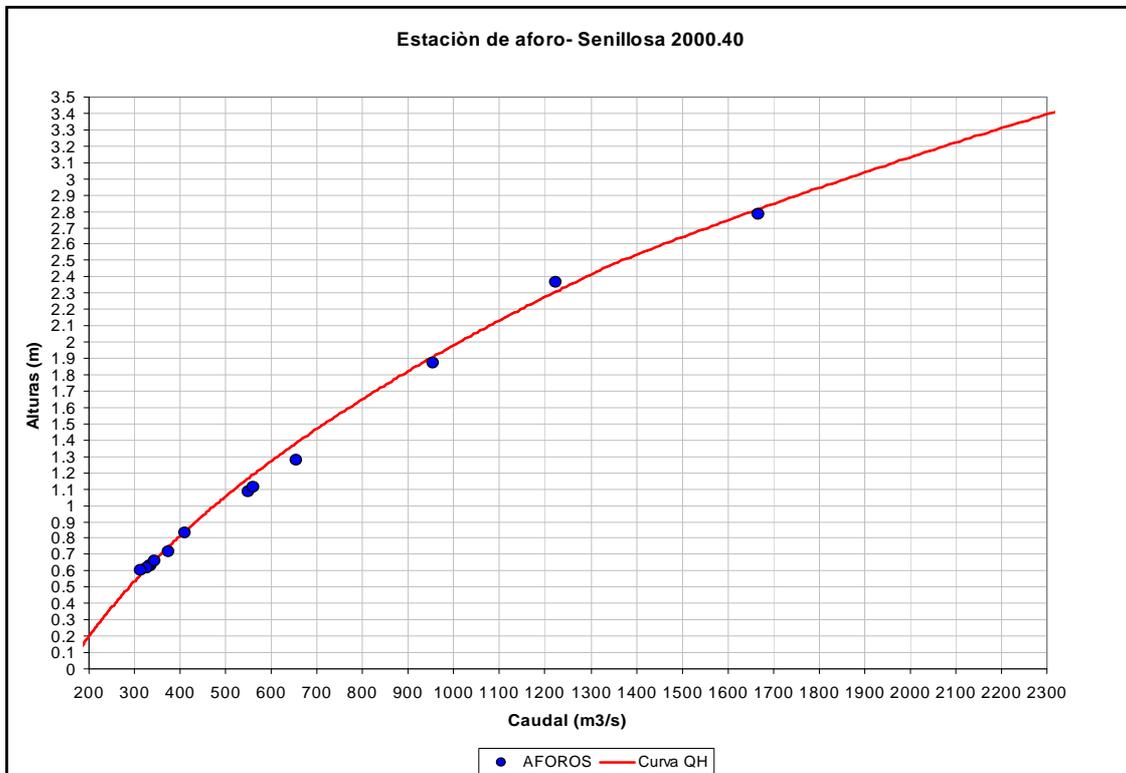


Fig 1: Curva relación altura - caudal (HQ).

Los aforos directos proporcionan los puntos de apoyo básico, ya que constituyen datos reales medidos, para el trazado de las curvas de caudales (relación altura-caudal) en una sección de un cauce. Su realización periódica es fundamental por dos motivos:

- Las estaciones de aforos suelen registrar únicamente el dato del nivel de agua en la sección de control a lo largo del tiempo (gráfico de altura de río) y por tanto es necesario realizar el calibrado del caudal circulante equivalente obtenido mediante la curva de caudales. Estas "calibraciones" son los aforos directos.
- La variabilidad estacional de los cursos de agua, la circulación de crecidas, la proliferación de vegetación, los fenómenos de erosión y sedimentación, etc., es la causa de los cambios que sufren, en general, los cauces y, en particular, las secciones de aforo, que, aunque sometidas a operaciones de mantenimiento, requieren la realización de aforos directos que proporcionan información sobre la magnitud de dichas alteraciones, así como del momento en que se produjeron. Los aforos directos se realizan de manera mensual, y son los "testigos" del cambio en la tendencia de las curvas de caudales.

Por tanto, la obtención de aforos directos a lo largo del tiempo en diferentes situaciones de caudales proporciona una serie de valores (H, Q) que definirán la curva de caudales, en una sección establecida y su evolución temporal.

Los datos que proporcionan las medidas realizadas en un aforo directo tienen por objeto conocer la geometría de la sección mojada por el agua (anchura y profundidades) y el campo de velocidades en esta sección de control.

En crecidas, cuando el régimen es variable, no suele ser posible realizar aforos completos con molinete (largos en duración) debido a las grandes variaciones de nivel desde el principio al fin de la toma de datos; además, los aforos directos con estos aparatos suelen ser sólo superficiales en estas situaciones de crecida debido a la fuerza de la corriente y los sólidos que arrastra, por lo que hay que estimar posteriormente la distribución de velocidades. Actualmente, se pueden realizar mediciones completas en aguas altas mediante otras técnicas más rápidas, como las de los perfiladores acústicos Doppler (ADP), que permiten conseguir que la variación de niveles durante la ejecución del aforo no sea muy importante y por tanto mantener la hipótesis de régimen permanente durante los minutos del aforo.

Estaciones de Aforo.



Fig 2: Estaciones de aforo.

La AIC cuenca con una red de 66 estaciones de aforo sobre los ríos de las distintas cuencas hidrográficas de su área de influencia. Las mismas brindan información básica de manera diferida y/o instantánea. Los aforos se realizan con una periodicidad mensual o bimestral, según un criterio de necesidades.

Las estaciones de aforos de la AIC son las siguientes:

Estaciones de Aforo		Aforo	Río/Arroyo
02000.40	SENILLOSA	mensual	Río Limay
03000.09	PORTEZUELO GRANDE	mensual	Río Neuquén
03000.40	VARVARCO (PUENTE)	mensual	Río Neuquén
03500.01	CANAL PRINCIPAL	mensual	Canal Principal Riego
04100.02	CASA DE PIEDRA	bimestral	Río Caleufu
04130.01	RIO HERMOSO	bimestral	Río Hermoso
10000.10	AYO. POCAHULLO	bimestral	Arroyo Pocahuyo
Estaciones de Aforo Automáticas instantanea		Aforo	Río/Arroyo
01000.11	ALLEN	mensual	Río Negro
02000.44	LAS PERLAS (AIC)	mensual	Río Limay
02000.58	PICHI PICUN LEUFU (NUEVA)	mensual	Río Limay
02000.62	VILLA LLANQUIN	mensual	Río Limay
02000.67	CAMPING Y.P.F.	mensual	Río Limay
02200.02	SALMONICULTURA	mensual	Río Traful
02200.03	LA CANTERA	mensual	Río Traful
02300.07	CORRALITO	mensual	Río Pichi Leufu
03000.14	RAHUECO	mensual	Río Neuquén
03000.15	BALSA HUITRIN (SSRRHH)	mensual	Río Neuquén
03000.38	COMPENSADOR EL CHANAR	mensual	Río Neuquén
03000.45	NEHUEN	mensual	Río Neuquén
03000.60	LA HIGUERA	mensual	Río Neuquén
03000.80	CIPOLLETTI TOMA	mensual	Río Neuquén
03000.90	VARVARCO PUENTE (AyEE)	mensual	Río Neuquén
03100.04	PORTADA COVUNCO	mensual	Arroyo Covunco
03300.04	PUESTO VALLEJOS	mensual	Río Trocoman
03320.03	LA BUITRERA	mensual	Río Reñeleuvu
03400.01	LOS MAITENES (SSRRHH)	mensual	Río Curi Leuvu
03810.01	LOS MICHES	mensual	Río Lileo
04100.03	PUESTO CORDOBA	mensual	Río Caleufu
04100.05	PUENTE CALEUFU	mensual	Río Caleufu
04110.01	SALIDA LAGO MELIQUINA	mensual	Río Meliquina
04160.04	PUESTO LOPEZ	mensual	Río Filo Hua Hum
05000.03	BAJADA DEL AGRIO (Nueva)	mensual	Río Agrio
05000.07	EA. PINO ANDINO	mensual	Río Agrio
05000.16	EA. HUARENCHENQUE	mensual	Río Agrio
06000.03	SALIDA LAGO ALUMINE	mensual	Río Aluminé
06000.07	RAHUE	mensual	Río Aluminé
06000.11	EA. ALINCO (LA AIDA)	mensual	Río Aluminé
06000.21	SAN CEFERINO	mensual	Río Aluminé
06000.27	HUECHAHUE	mensual	Río Aluminé
06100.06	EA. MAMUIL MALAL	mensual	Río Malleo
06200.03	EA. SANTA ROSA	mensual	Río Quillen
06200.04	EA. LA OFELIA	mensual	Río Quillen
06400.02	SALIDA LAGO NORQUINCO	mensual	Río Piulmarí
06900.08	LAS COLORADAS	mensual	Río Catal Lil
07000.03	EA. CASA DE LATA	mensual	Río Chimehuin
07000.07	PUESTO COLLUNCO	mensual	Río Chimehuin
07300.01	PUENTE R. N. 234 (SSRRHH)	mensual	Río Quilquihue
08000.19	LAS PIEDRITAS	mensual	Arroyo Las Piedritas
08000.20	RIO BONITO	mensual	Río Bonito
Estaciones de Aforo Observador		Aforo	Río/Arroyo
02210.01	CUYIN MANZANO (SSRRHH)	mensual	Río Cuyin Manzano
02400.01	P L PAINEMILLA	mensual	Arroyo Picun Leufú
03000.31	ANDACOLLO	mensual	Río Neuquén
03800.08	LOS CARRIZOS (SSRRHH)	mensual	Río Nahueve

Estaciones de Aforo Automáticas diferidas		Aforo	Río/Arroyo
02220.01	PUENTE RIO MINERO	bimestral	Río Minero
06000.15	LA MEDIA LUNA	bimestral	Río Aluminé
06000.19	LA SIBERIA (SSRRHH)	bimestral	Río Aluminé
06000.25	EX BALSA PULMARI	bimestral	Río Aluminé
06000.26	TALHELMUM	bimestral	Río Aluminé
06100.05	PUENTE MALLEO (SSRRHH)	bimestral	Río Malleo
06100.09	MALLEO ABAJO	bimestral	Río Malleo
06300.03	PUESTO CASA DE PIEDRA	bimestral	Río Rucachoroi
06300.04	PEHUEN CURA	bimestral	Río Rucachoroi
06400.03	CONF. DEL PULMARI	bimestral	Río Pulmarí
07000.02	NACIENTE CHIMEHUIN (SSRRHH)	bimestral	Río Chimehuin
07300.02	SALIDA LAGO LOLOG	bimestral	Río Quilquihue
08813.01	RIO ESPEJO CHICO	bimestral	Río Espejo Chico

Técnicas de aforo directo.

Aforos directos con molinete.

Es el método más empleado para realizar las mediciones directas de caudal en cauces abiertos.

El más común es el molinete de hélice. Este aparato de precisión consta de una hélice unida solidariamente con un eje interior que se coloca en diferentes posiciones (puntos) de una sección transversal con referencia siempre a la distancia con una orilla y a la profundidad en cada vertical. La hélice se mantiene un intervalo de tiempo estacionada en cada punto, obteniéndose un mayor número de revoluciones cuanto mayor sea la velocidad del flujo. El eje interior de la hélice, al igual que la carcasa, dispone de un pequeño imán; así, cada giro de hélice provoca un impulso eléctrico que es transmitido mediante un cable a la caja cronómetro donde se cuentan las vueltas registradas en un período de tiempo prefijado.

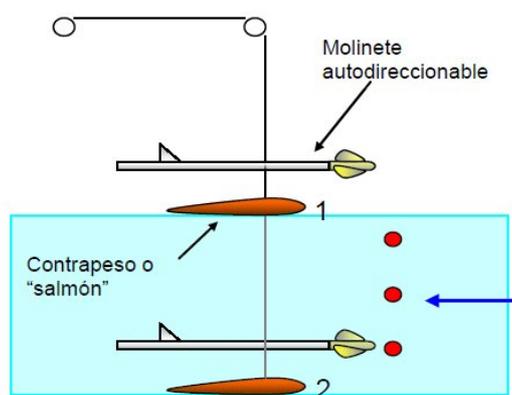


Fig 3: Molinete de hélice.

El cuerpo principal del molinete, donde se halla la hélice, puede ser introducido en el agua mediante diferentes sistemas:

A) Barra graduada. Empleada en aforos realizados por vadeo o desde pasarelas, en situaciones en las que las velocidades no son altas (y el aforador es capaz de sujetar la barra) y las profundidades de río tampoco.

B) Cable lastrado. Colocado a través de un torno desde los puentes, pasarelas o cables maroma, es empleado para velocidades y profundidades más importantes.

Cada molinete convencional dispone de un juego de hélices de distintos pasos para poder abarcar con precisión un mayor rango de velocidades. Cada hélice tiene una ecuación de cálculo de velocidad y parámetros asociados. La misma se determina mediante la calibración del instrumento. Los resultados varían según el modo de sujeción empleado. De este modo una misma hélice tiene distintas ecuaciones dependiendo de si está montada sobre barras o suspendida de un torno con contrapeso.



MINISTERIO DE CULTURA Y EDUCACION
Universidad Nacional de San Juan
Facultad de Ingeniería
Instituto de Investigaciones Hidráulicas
"Ing. Manuel S. García Wimer"
Justo José de Urquiza 91 - Norte - (CP. 5400) - SAN JUAN -
ARGENTINA Tel. 54-264-4211700 - Int. 203/207 - Directo - Fax 54-264-
4272251 - email: idih@unsj.edu.ar



Tarjeta de Calibración N° 1485

Instrumento:		Molinete hidrométrico	
Marca:		AOTT	
Modelo:		Magnético	
Número de Serie:		62562	
Identificación de organismo calibrador:		62562	
Fecha de calibración:		05/09/2011	
Contraste válido hasta:		(Ver certificado N° 1485)	
Ecuaciones a aplicar:			
Serie N°	Desde [m/s]	Hasta [m/s]	Ecuación:
1-63693	0.20	0.98	$V = 0,2425 n + 0,0758$ (utilizable en el rango $0,48 \leq n \leq 3,75$)
1-63693	0.98	4.51	$V = 0,2595 n + 0,0121$ (utilizable en el rango $3,75 \leq n \leq 17,27$)

Jefe de Laboratorio **Responsable del ensayo:**

Firma:  Firma: 

Aclaración: **Analia A. Meissl** Aclaración: **Oscar R. Chicala**

Esta tarjeta de calibración es anexa al Certificado de calibración N°: 1485

Fig 4: Certificación de calibración de molinete.

La ecuación de la hélice, para cada tipo de sujeción, suele ser de la forma:

$$n < k \rightarrow v = a * n + b$$

$$n \geq k \rightarrow v = c * n + d$$

Dónde:

n: Es el número de revoluciones por segundo medidas.

v: La velocidad del agua en m/s.

k, a, b, c y d: Son las constantes deducidas por el fabricante.



Fig 5: Molinete de hélice sumergido con barra graduada (A) y con cable lastrado (B)

Metodología de cálculo de medición de caudal.

La medición de caudal se realiza mediante la medición de verticales; siguiendo las instrucciones de la WMO para la determinación de la velocidad media de una vertical y formula aritmética del cálculo del caudal.

1. Medición de verticales

La forma más habitual de distribuir los puntos de toma de velocidades es dividir la sección en verticales. A su vez, en cada una de estas verticales se sitúan los puntos de medida en distintas profundidades.

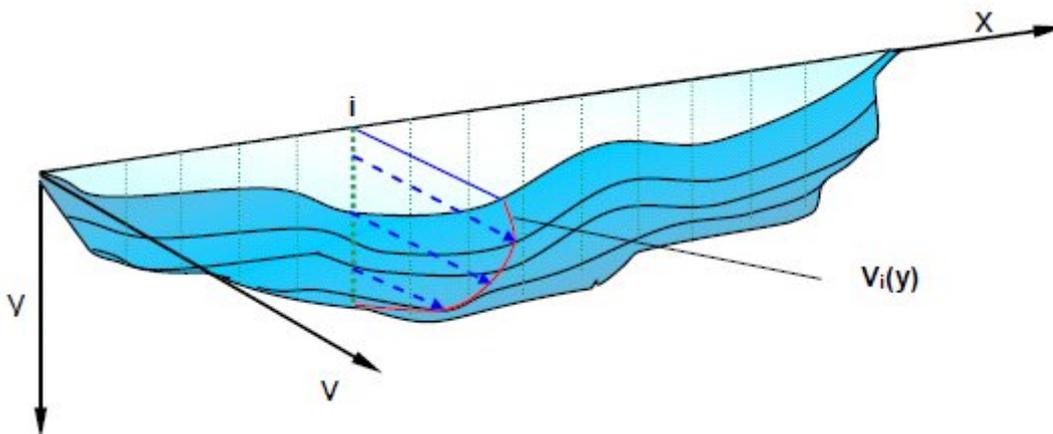


Fig 6: Perfiles de velocidades de río.

La distribución de verticales dependerá de la anchura del cauce. Se divide la sección de aforo en un número adecuado de verticales.

Las verticales de observación estarán situadas de modo que definan óptimamente la variación de elevación del lecho del río y la variación horizontal de velocidad. Por lo general, el intervalo entre dos verticales cualesquiera no será superior a 1/20 de la anchura total, y el caudal de cada segmento no será superior al 10 por ciento del caudal total.

En cada vertical i se tomarán las lecturas de velocidad precisas para definir la curva $V_i(y)$ que delimita junto a la línea de superficie y la profundidad lo que se conoce como Perfil de velocidades.

En las siguientes figuras se pueden apreciar las características más significativas de estos perfiles de velocidad.

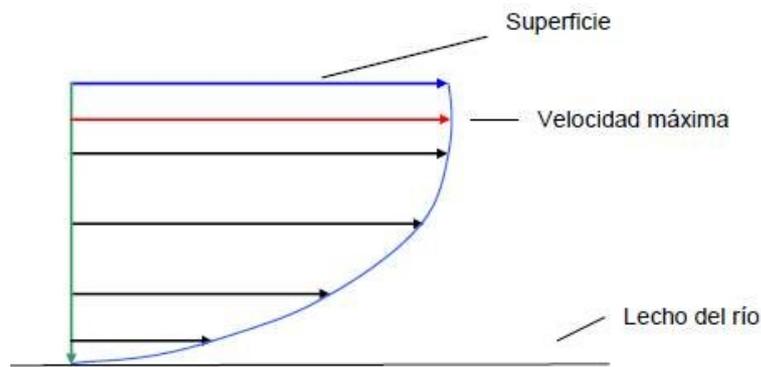


Fig 7: Perfil de velocidad teórico.

2. Determinación de la velocidad media en una vertical

La velocidad media del agua en cada vertical se determina mediante los métodos de un número discreto de puntos.

a) Método de un solo punto. Se efectúan observaciones de velocidad en cada vertical instalando el molinete a 0,6 veces la profundidad por debajo de la superficie. El valor observado se interpretará como la velocidad media en la vertical.

$$Vm = V_{0,6}$$

b) Método de los dos puntos. Se efectúan observaciones de velocidad en cada vertical instalando el molinete a 0,2 y 0,8 veces la profundidad por debajo de la superficie. El promedio de ambos valores se interpretará como la velocidad media en la vertical.

$$Vm = \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2}$$

c) Método de los tres puntos. Se efectúan observaciones de velocidad instalando el molinete en cada vertical a 0,2, 0,6 y 0,8 veces la profundidad bajo la superficie. El promedio de esos tres valores podrá ser interpretado como la velocidad media en esa vertical. Alternativamente, podría ponderarse la medición a 0,6 veces la profundidad y obtener la velocidad media mediante la ecuación siguiente:

$$Vm = \frac{V_{0,2} + 2 * V_{0,6} + V_{0,8}}{4}$$

d) Método de los cinco puntos. Consiste en efectuar mediciones de velocidad en cada vertical a 0,2, 0,6 y 0,8 veces la profundidad bajo la superficie y lo más cerca posible de ésta y del fondo. La velocidad media podrá determinarse mediante una representación gráfica del perfil de velocidad, del mismo modo que con el método de distribución de velocidades, o bien a partir de la ecuación:

$$Vm = \frac{V_{sup} + 3 * V_{0,2} + 3 * V_{0,6} + 2 * V_{0,8} + V_{lecho}}{10}$$

e) método de los seis puntos. Se efectúan observaciones de velocidad instalando el molinete a 0,2, 0,4, 0,6 y 0,8 veces la profundidad bajo la superficie, y lo más cerca posible de ésta y del fondo. Las observaciones de velocidad se representan en forma gráfica, y se determina la velocidad media del mismo modo que en el método de distribución de velocidades, o a partir de la ecuación:

$$V_m = \frac{V_{sup} + 2 * V_{0,2} + 2 * V_{0,4} + 2 * V_{0,6} + 2 * V_{0,8} + V_{lecho}}{10}$$

El método de los dos puntos se utiliza cuando la distribución de velocidades es normal y la profundidad es superior a aproximadamente 60 cm. El método de un solo punto se utiliza cuando la profundidad es menor. El método de los tres puntos se utilizará para las mediciones efectuadas bajo el hielo o en canales con profusión de vegetación acuática. El método de los cinco puntos se utilizará cuando la distribución vertical de la velocidad sea muy irregular. El método de los seis puntos puede utilizarse en condiciones difíciles, por ejemplo, cuando hay vegetación acuática o en presencia de una capa de hielo. Puede utilizarse también cuando la distribución vertical de la velocidad es muy irregular.

3. Métodos aritméticos para el cálculo del caudal.

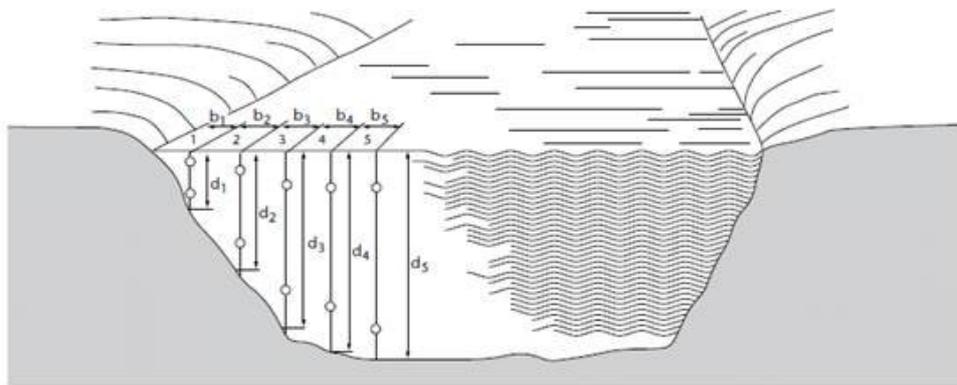


Fig 8: Posición de los puntos de observación en una sección transversal de corriente.

Una vez calcula la velocidad media de cada vertical, el caudal final se calcula de dos formas diferentes:

a) Método de la sección media.

Se considera que la sección transversal está dividida en varios segmentos limitados por dos verticales adyacentes. Si denominamos v_1 a la velocidad media en la primera vertical, y v_2 a la velocidad media en la segunda, y si d_1 y d_2 son las profundidades totales medidas en las verticales 1 y 2 y b es la distancia horizontal entre verticales, entonces el caudal q del segmento será:

$$q = \left(\frac{\bar{v}_1 + \bar{v}_2}{2} \right) * \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right) * b$$

El caudal total se obtendrá sumando los caudales correspondientes a cada uno de los segmentos;

$$Q = \sum_i^n (q_1 + q_2 + \dots + q_n)$$

b) método de la sección central.

Se calcula el caudal en cada segmento multiplicando el valor de v_d en cada vertical por una altura igual a la suma de las mitades de la distancia respecto a las verticales adyacentes. Seguidamente podrá estimarse el valor de d en las dos medias anchuras adyacentes a las márgenes. En los términos de la figura I.5.1, el caudal total Q se calcula mediante la fórmula:

$$Q = \bar{v}_1 * d_1 * \left(\frac{b_2 + b_1}{2}\right) + \bar{v}_2 * d_2 * \left(\frac{b_1 + b_2}{2}\right) + \dots + \bar{v}_n * d_n * \left(\frac{b_n + b_{n-1}}{2}\right)$$

Aforos directos con tecnología ADP.

El Perfilador acústico móvil basado en el efecto doppler (ADP), permite la medición de la velocidad del agua, cálculo del caudal y batimetría en canales y ríos.

El equipo Doppler operan desde una plataforma de flotación (catamarán) y/o montado (lateral) sobre embarcación en movimiento y es capaz de obtener una "lectura" de la distribución de velocidades en la sección de aforo, discretizada en celdas de un tamaño predefinido. Además viene acompañado de un software que permite, entre otras funciones, visualizar los resultados mientras se realiza la medición.

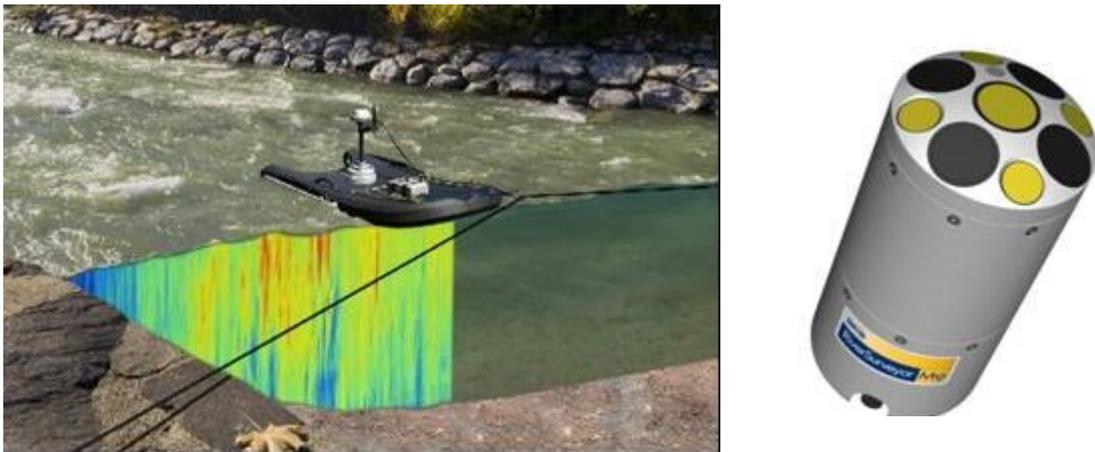


Fig 9: Equipo Doppler para la medición de caudales.

Con este instrumento se puede obtener una medición de caudal directa en un río. El procedimiento consiste en arrastrarlo desde un cable maroma o puente de orilla a orilla con un cable. El sistema Doppler permite de una pasada obtener la sección del río con la distribución de velocidades medidas. El software asociado obtiene inmediatamente, por integración, el caudal total

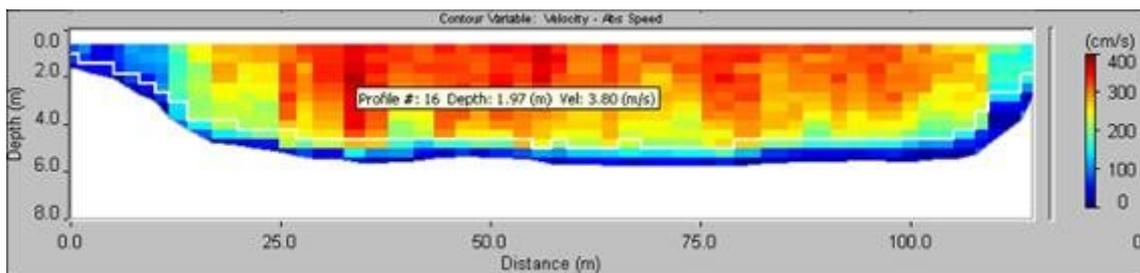


Fig 10: Perfil de velocidades de software.

Entre las ventajas que aporta este sistema se destaca, la rapidez con que se realiza la medición. En unos minutos se puede aforar un río de 100m de anchura. Con molinetes, un equipo de operarios expertos se tarda entre dos y tres horas en explorar el campo de velocidades con una densidad de puntos de medida adecuada, dependiendo de la profundidad.

Esta técnica no sustituye actualmente a los aforos clásicos con molinete, que mantienen su eficacia en caudales bajos y medios, sino que ambos sistemas se complementan perfectamente.

Metodología de cálculo de medición de caudal.

La medición de caudal resulta del promedio de cuatro pasadas de medición directa:

$$Q = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_4}{4}$$

Curvas relación altura – caudal (curvas HQ)

Los aforos directos determinan el caudal (Q) que circula con una altura (H), (referida a una escala limnimétrica fija) en un instante determinado, por la sección de aforo.

La extrapolación de la curva HQ se realiza mediante el método analítico de primer tipo:

$$Q = A * (H - H_0)^n$$

Dónde:

Q: Caudal (m³/s)

H: Nivel de agua en la escala (m)

H₀: Nivel de caudal nulo (m)

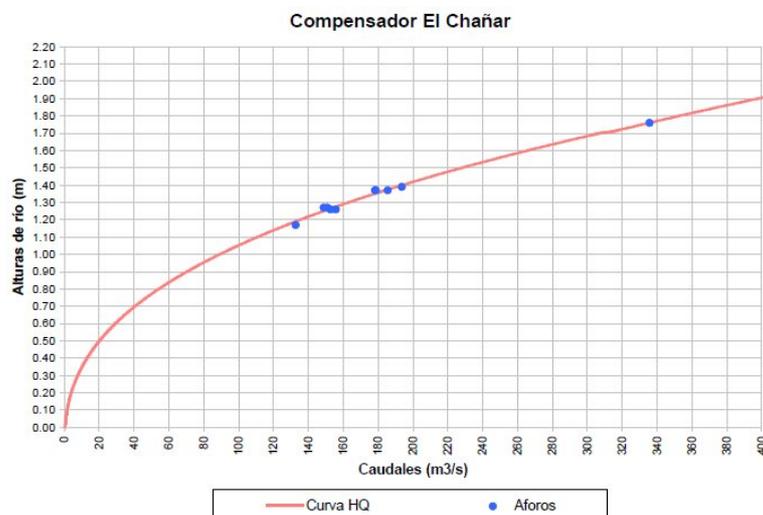
n: Exponente.

En el mismo se consideran dos tramos con el fin de tener un buen ajuste para todo el rango de alturas.

$$\text{Si } H < H_{\text{mín}} \rightarrow Q = A_1 * (H - H_{01})^{n1}$$

$$\text{Si } H \geq H_{\text{mín}} \rightarrow Q = A_2 * (H - H_{02})^{n2}$$

Ejemplo de una Curva HQ:

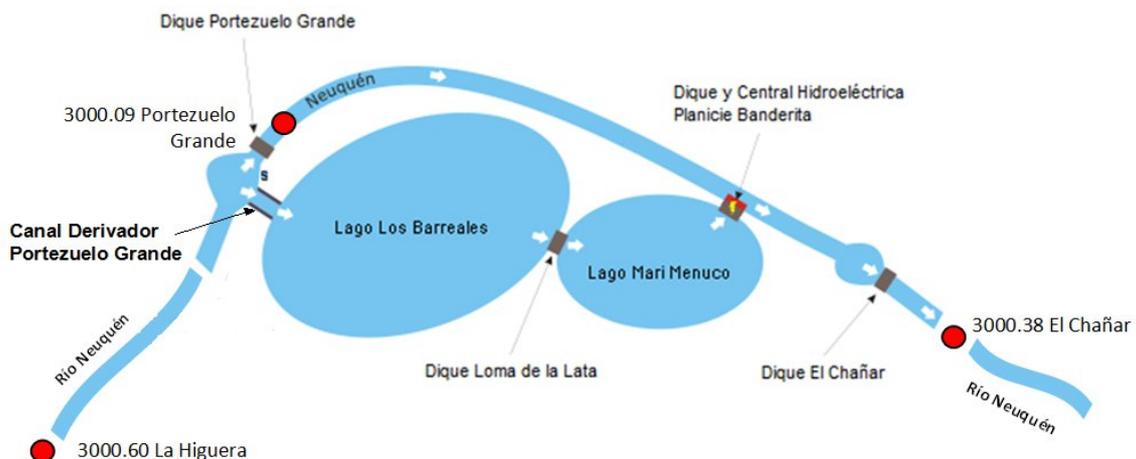


Mediciones de caudales entrantes y salientes del Complejo Cerros Colorados.

Complejo Cerros Colorados.

El complejo cerros colorados consta de cuatro diques sobre el río Neuquén, para su aprovechamiento tanto hídrico como hidroeléctrico: Portezuelo Grande, Loma de la Lata, Planicie Banderita y El Chañar. Dos embalses mayores "Los Barreales" y "Mari Menuco" y dos embalses menores frente a los diques Portezuelo Grande y El Chañar.

La central hidroeléctrica instalada junto al dique planicie banderita tiene una capacidad instalada de 479 MW.



Es de suma importancia determinar los caudales entrantes y salientes del complejo para verificar el balance hídrico del sistema.

El caudal del río Neuquén, entrante al complejo, está medido en la estación La Higuera, ubicada aproximadamente a 56km aguas arriba. La misma tiene medición de alturas de río a paso de tiempo de una hora. Los aforos directos se realizan con una periodicidad mensual, con molinete o con ADP.

El Dique Portezuelo Grande deriva hacia el curso original del río un caudal mínimo que es utilizado para riego y consumo en la zona de Añelo. Aguas abajo del dique se encuentra la estación Portezuelo Grande, en la misma solo se miden aforos directos bimestralmente con ADP.

El Dique Compensador El Chañar tiene la misión de regular el caudal del río Neuquén según las Normas de Manejo de aguas. A 250m aguas abajo de encuentra la estación Compensador El Chañar, la cual mide alturas de río a paso de tiempo horario, con aforos mensuales realizados con molinete o ADP.

Secciones de Aforos.

Rio Neuquén – 3000.38 - Compensador el Chañar.



Fig 11: Aforo con equipo Doppler – Estación de aforo El Chañar.



Fig 12. Equipo Doppler.



Fig 13: Aforo con molinete – Estación de aforo El Chañar.

Río Neuquén – 3000.09 – Portezuelo Grande.



Fig 14: Sección de Aforo - Portezuelo Grande.



Fig 15: Aforo con equipo Doppler – Estación Portezuelo Grande.

Rio Neuquén – 3000.60 – La Higuera.



Fig 16: Sección de aforo - La Higuera.



Fig 17: Aforo con equipo Doppler – Estación La Higuera.

Curvas HQ de secciones de aforo.

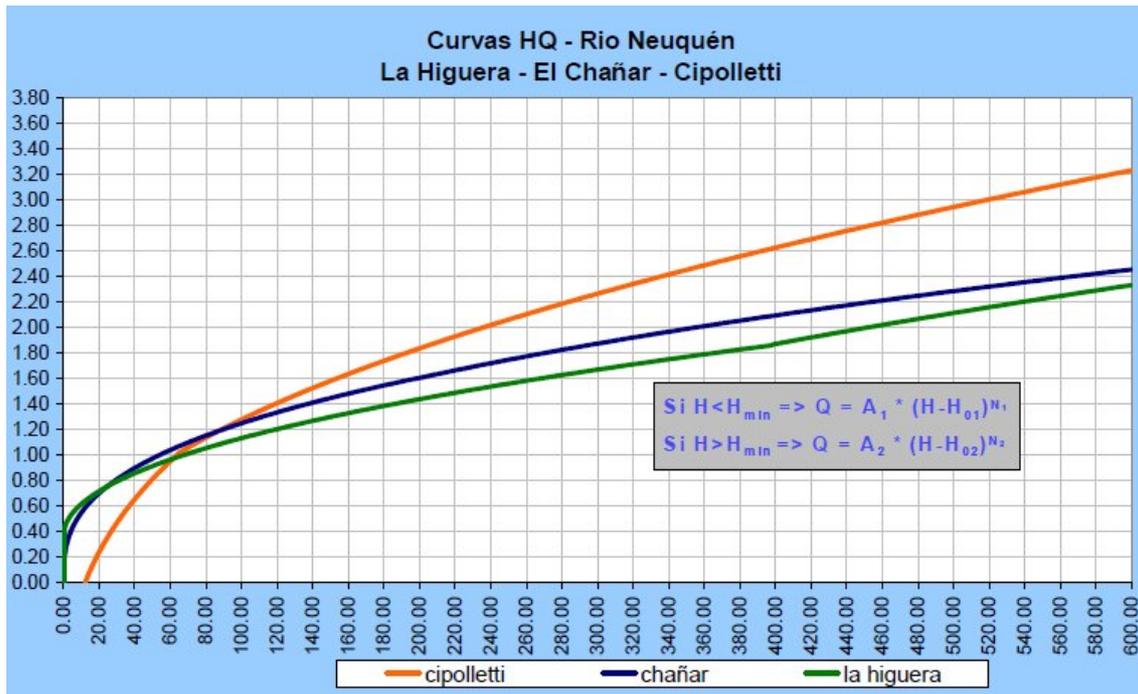
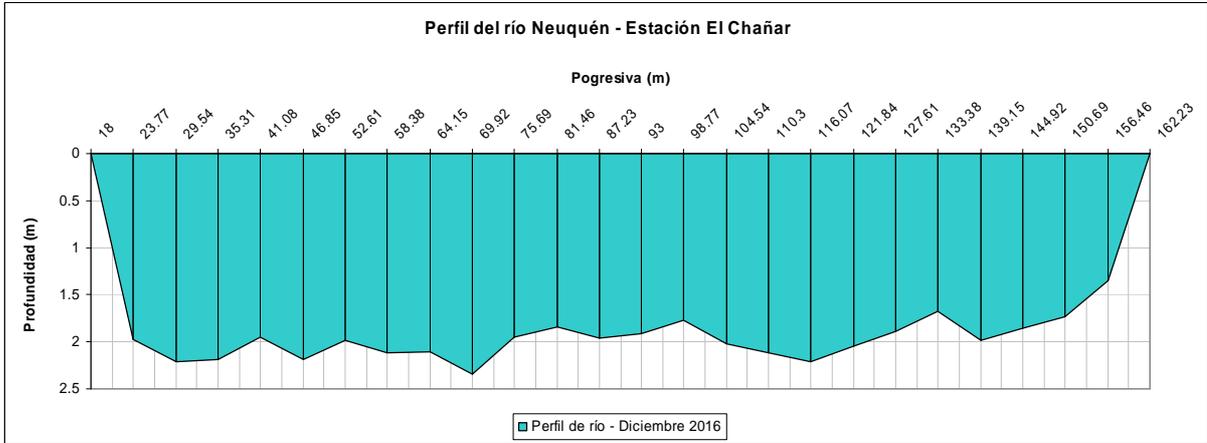


Tabla de parámetros para las curvas HQ vigentes.

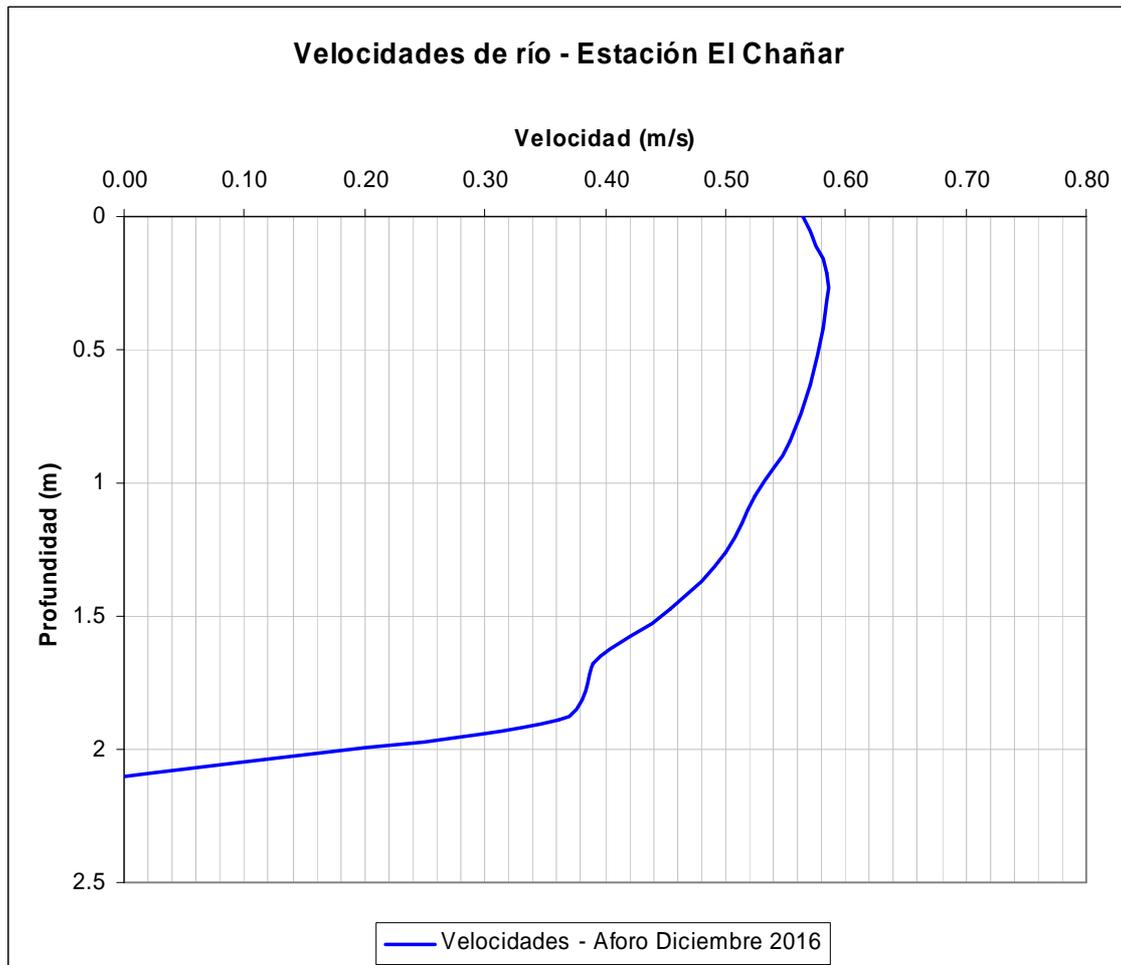
Estación	Hmín	Hmáx	A1	H01	N1	A2	H02	N2
La Higuera	1.86	12	171	0.36	2.08	95	-0.18	2.00
Compensador El Chañar	1.60	9.999	57	0.02	2.72	80	0.14	2.40
Cipolletti (toma de agua)	1.00	7.5	8	-1.17	2.68	55	-0.07	2.00

Perfiles de ríos – batimetría.

Perfiles de ríos para las estaciones de aforo de Compensador El Chañar durante los aforos.



Velocidades de ríos.



Caudales horarios HQ.

Con las curvas HQ vigentes y las mediciones instantáneas de altura de ríos, se tienen los caudales de ríos horarios en las distintas estaciones.

