

# DETERMINACIÓN DE LA CMP Y DE LA PMP POR MÉTODOS ESTADÍSTICO E HIDROMETEOROLÓGICO EN LA CUENCA DEL RÍO PERCY

Marcelo Uriburu Quirno<sup>1</sup> y Tomás Susnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Consultor Independiente, <sup>2</sup>Jaime Lande y Asociados S.A., República Argentina.  
E-mail: marcelo\_uriburu@yahoo.com, tomas.susnik@hotmail.com

## Introducción

El Complejo Hídrico Multipropósito de la Cuenca del Río Percy (provincia de Chubut, República Argentina) se ubica en las cercanías de las ciudades Esquel y Trevelin, donde el río presenta condiciones topográficas y geológicas aptas para lograr un aprovechamiento hídrico que permitirá el desarrollo social y económico de la zona. Como parte de los estudios hidrológicos del complejo, se determinó en la sección de emplazamiento de la presa la Crecida Máxima Probable (CMP), a partir de la transformación de la Precipitación Máxima Probable (PMP) de 24h de duración mediante un modelo hidrológico de eventos. A su vez, la estimación de la PMP fue realizada bajo dos enfoques: uno estadístico (PMP-E) y uno hidrometeorológico (PMP-H).

En este resumen, se describe la cuenca, se hace una breve introducción metodológica, y se presentan los resultados obtenidos y las principales conclusiones extraídas, así como las principales referencias bibliográficas.

## Descripción de la cuenca del Río Percy

El río Percy (perteneciente a la vertiente del Pacífico) tiene sus nacientes en la Loma Boscosa (noroeste de Chubut) y drena en dirección N-S hasta su confluencia con el río Corintos. La cuenca en la sección de la presa tiene un área de 577km<sup>2</sup> y está tipificada como de montaña, con grandes desniveles: desde 640m a 2200 m, con una altura mediana de unos 1160m. Con buena pendiente y una red de drenaje bien desarrollada, el tiempo de concentración ronda las 12 h.

La cuenca presenta un importante gradiente de humedad en la dirección O-E, con precipitaciones acumuladas anuales promedio que decrecen regionalmente de 2500mm a 500mm, con un valor medio areal para la cuenca de 800mm. El caudal módulo ronda los 12 m<sup>3</sup>/s (Estación de Aforos *Ruta a Futalaufquen*, de la ex Subsecretaría de Recursos Hídricos). El año hidrológico va de abril a marzo, con caudales medios mensuales promedio entre 2m<sup>3</sup>/s (marzo) y 23m<sup>3</sup>/s (octubre). La mayor crecida observada en el corto registro fue de 195m<sup>3</sup>/s. El régimen es pluvionival, con sus mayores crecidas generadas por aportes pluviales en meses de otoño e invierno (junio-agosto). Los aportes de origen nival ocurren en el período octubre-febrero.

## Metodología

La PMP se define como la mayor cantidad de precipitación meteorológicamente posible que corresponde a determinada duración en una cuenca hidrográfica en un determinado lugar en un período dado del año, sin tener en cuenta las tendencias climáticas que se producen a largo plazo. Su finalidad es determinar la CMP para un proyecto dado (OMM, 2009). La PMP constituye el límite superior físico para una duración determinada sobre una cuenca en particular y, por tanto, no tiene asignado un período de retorno. Puede responder a dos enfoques: (a) estadístico, que privilegia el carácter de probable y la concibe como un evento con probabilidad sumamente baja, pero finita, de ser excedido, y (b) hidrometeorológico, que enfatiza su condición de máxima, al asumirla como límite físico infranqueable.

*PMP-E*: El método de Hershfield (1961), aplicable en cuencas de hasta 1000km<sup>2</sup>, es muy útil donde no hay o son insuficientes datos históricos de punto de rocío y registros de viento. Se utilizan las series de precipitación en una duración, máximas anuales, de una red de estaciones pluviométricas. Si bien es básicamente un método de análisis de frecuencia, difiere de los métodos tradicionales en que se centra en una amplia región para hallar una tormenta que se aproxime al límite físico superior, y no en una sola estación. Para ello, estima un valor del factor de frecuencia maximizado  $K_m$  (que minimiza la probabilidad de excedencia de la lluvia). La expresión resultante de la PMP en función de media y desvío estándar es:

$$PMP = \bar{X} + K_m \cdot S_d \quad [1]$$

Para la cuenca del Percy, se recolectó la información pluviométrica de unas 14 estaciones distribuidas en la región, estando sólo una de ellas instalada dentro de los límites de la cuenca. Los 14 sitios fueron seleccionados con un criterio de vecindad geográfica, a los que se les evaluó la medida de discordancia, que verificó que ninguno de los sitios es groseramente discordante del conjunto. Los pasos realizados se resumen en: (a) calcular media y el desvío estándar de la serie de máximos anuales de precipitación de 24h (9 a 9 HOA) de cada estación, (b) aplicar coeficientes de ajuste a la media y al desvío estándar, por la posibilidad de que haya ocurrido un evento extremo dentro de un registro de corta longitud, y por longitud de registro, (c) estimar media y desvío en el baricentro de la cuenca mediante interpolación IDW de los correspondientes a cada estación, ya corregidos, (d) evaluar el factor de frecuencia maximizado a partir de una curva envolvente (trazada con información de más de 2700 estaciones en todo el mundo, OMM (2009)) en función de la duración de lluvia y de la media, al que se le aplica una corrección por área de cuenca y duración de lluvia, conocida como coeficiente de abatimiento areal, (e) evaluar la PMP mediante la ecuación [1], y (f) afectarla por un factor 1.13 para que la PMP computada de pluviometría (a hora fija) sea representativa de 24h móviles.

*PMP-H*: El cómputo de la PMP requiere de información detallada de diversas variables meteorológicas, con paso menor que diario, tales como temperatura del aire y humedad relativa (necesarias para el cálculo de la temperatura del punto de rocío), y velocidad y dirección del viento. Para esta información, se evaluaron dos fuentes disponibles: información in situ de cuatro estaciones automáticas cercanas (pertenecientes a Hidroeléctrica Futaleufú) con longitud de registro acotada, menor a 17 años, e información global grillada generada por el proyecto *Reanalysis* (Kalnay et al., 1996), es decir, resultante de modelación numérica del tiempo con asimilación de numerosas observaciones de distintas variables meteorológicas, para un período de casi 70 años. Existen varios métodos hidrometeorológicos de estimación de PMP. De entre ellos, se aplicó el método de maximización de tormentas locales a escala de cuenca: la PMP se estima según la tormenta máxima observada en la cuenca del proyecto. La maximización de la humedad puede realizarse por punto de rocío y por viento. Este método es aplicable cuando hay varios años de datos.

De ser posible contar con un registro prolongado de datos de temperatura del aire, humedad relativa y viento de *Reanalysis* se logra: (a) contar con el mayor número posible de eventos extremos de tormenta, ya que pueden incorporarse los registros

de estaciones pluviométricas convencionales de la zona, con registros más prolongados que los de las cuatro automáticas mencionadas, y (b) realizar una estimación más confiable de los cuantiles de 100 y 50 años de período de retorno de punto de rocío persistente 12h y de velocidad de viento requeridos para maximización de lluvias. Por ello, antes de utilizar *Reanalysis*, se realizó una comparación de los puntos de rocío de ambas fuentes. De encontrarse, a lo largo del período donde la comparación es posible, una buena correspondencia entre series, podría utilizarse de manera confiable la fuente *Reanalysis* para la maximización de tormentas extremas.

Los pasos para la estimación de la PMP-H se resumen de la siguiente manera (adaptado de Maza et al., 2002): (a) selección de las tormentas a maximizar para la duración elegida, (b) determinación del punto de rocío en superficie, persistente 12 horas, en cada estación y para cada tormenta, (c) reducción de los valores del punto anterior a 1000hPa a cota cero, (d) determinación del punto de rocío en superficie, persistente 12 horas, en cada estación y para cada mes del año, asociado a un período de retorno de 100 años (Figura 1), (e) reducción de los valores del punto anterior a 1000hPa a cota cero, (f) determinación del valor medio areal a partir de los valores del punto anterior, (g) cálculo del coeficiente de maximización por punto de rocío de cada tormenta seleccionada, coeficiente que relaciona el agua precipitable entre la superficie y el tope de atmósfera para un período de retorno de 100 años para el mes del evento y la correspondiente para el evento, extractados ambos de tabla, (h) determinación de la intensidad media diaria del viento y su dirección, para cada tormenta analizada, (i) determinación de la intensidad media diaria asociada a un período de retorno de 50 años, para el mes del evento y para el rango angular correspondiente a la dirección de viento del evento, (j) cálculo del coeficiente de maximización por viento de cada tormenta seleccionada, coeficiente que se calcula por el cociente entre las intensidades del punto anterior y del subsiguiente anterior, (k) maximización de las tormentas registradas mediante el producto de sus PMA con ambos coeficientes, (l) determinación de la PMP-H como la máxima de las tormentas del punto anterior.

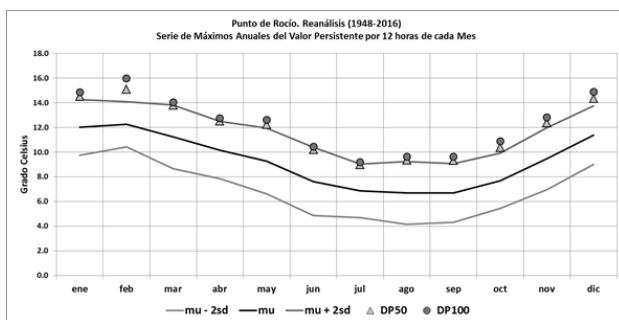


Figura 1.- Punto de rocío persistente 12h, mes a mes (*Reanalysis*).

**CMP:** La CMP se deriva a partir de la PMP, a través de modelación lluvia-escorrentía. La OMM (2009) recomienda la utilización de métodos sencillos y sugiere el uso de la teoría de hidrograma unitario. Para ello, se procedió a: (a) definir el yetograma de la PMP, mediante el método de la tormenta triangular, con pulsos de 1h y coeficiente de avance de 2/3, (b) computar la precipitación efectiva, mediante el método de las abstracciones CN del SCS, tomando condición antecedente de humedad III, (c) construir el hidrograma unitario sintético para una duración de 1h, a partir del hidrograma unitario instantáneo de Nash, cuya identificación se hizo mediante el ajuste de sus dos parámetros en función de características geomorfológicas de la cuenca, (d) convolucionar la tormenta efectiva con el hidrograma unitario, (e) sumar al hidrograma de caudal directo, un caudal base elegido constante.

## Resultados

Siguiendo los pasos enunciados en la sección anterior, se obtuvo el hidrograma CMP para la PMP estimada por cada enfoque (estadístico e hidrometeorológico). Ambos se presentan en la Figura 2.

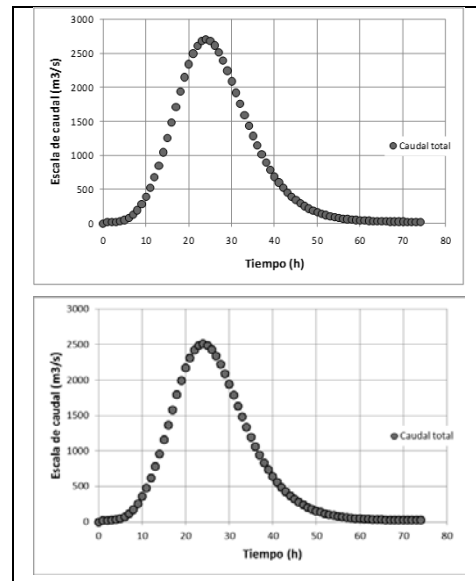


Figura 2.- Hidrogramas de CMP-E y CMP-H.

En Tabla 1 se muestran los valores resultantes de PMP-E y PMP-H, y los caudales pico de las CMP correspondientes.

Tabla 1.- Resumen de resultados para ambos métodos.

	Estadístico	Hidrometeorológico
PMP 24h (mm)	462	431
CMP, Qpico (m³/s)	2700	2508

## Conclusiones

En este resumen se presentó el cálculo de la precipitación máxima probable de 24 horas sobre la cuenca del Río Percy en la sección de la presa proyectada, mediante dos abordajes: uno estadístico (PMP-E) y uno hidrometeorológico (PMP-H). Asimismo, se presentó resumidamente la metodología para el cómputo de la crecida máxima probable (CMP) a partir de ambas PMP. Las PMP obtenidas mostraron alta consistencia entre sí, con una diferencia de lámina del orden de 7% de cada una de ellas (462mm y 431mm). Similarmente, los caudales pico de ambas CMP resultaron con una diferencia del mismo orden. Para la maximización de tormentas, dada la escasez de datos in situ se evaluó utilizar datos de *Reanalysis*, que cuenta con un registro de casi 70 años de las variables requeridas (cuatro valores diarios): temperatura del aire, humedad relativa, intensidad y dirección del viento. Los resultados fueron satisfactorios y consistentes con el abordaje estadístico, lo que incrementa la confiabilidad de las PMP y CMP obtenidas.

## Referencias bibliográficas

- Hershfield, D.M. (1961). "Estimating the Probable Maximum Precipitation". Jr. Hyd. Div., ASCE, Vol. 87. USA.
- Kalnay, E. et al. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-470.
- Maza J.A. et al. (2002). "Estudio de Crecida Máxima Probable para el Río Limay". Acta Complementaria N° 1 al Convenio de Colaboración Técnica entre ORSEP e INA.
- OMM, Organización Meteorológica Mundial (2009). "Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP)", WMO-No. 1045.