

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

XX CONGRESO CHILENO DE HIDRÁULICA

ANÁLISIS DE LA ESTIMACIÓN DE LA CRECIDA MÁXIMA PROBABLE Y DE LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO DE OBRAS DE EVACUACIÓN DE GRANDES PRESAS

**HARRY KING F.¹
RAÚL TAPIA G.²**

RESUMEN

En los últimos años ha ido adquiriendo cada vez más importancia la determinación de la Crecida Máxima Probable (CMP) como uno de los factores relevantes para determinar los caudales de diseño de las obras de evacuación de crecidas en presas de embalse. A menudo se asume que la magnitud de la CMP es un valor definitivo y que puede determinarse con precisión, lo que está lejos de ser válido. Estimaciones de la CMP están sujetas a incertidumbres considerables y dependen de manera importante de las suposiciones y criterios de los analistas. Es necesario que las estimaciones sean validadas y comparadas con otros procedimientos, con el fin de obtener valores seguros y razonables.

Este trabajo es una continuación y profundización del presentado en el XIX Congreso de la SOCHID “Estimación de Crecidas Máximas Probables de Origen Hidrometeorológico”. Se resume parte de la experiencia internacional adquirida en la determinación de la CMP y su relación con otros procedimientos de uso habitual en la definición de caudales de diseño en obras de embalses, como es el caso de los caudales de crecidas obtenidos para diferentes períodos de retorno. El objetivo principal es sintetizar esta experiencia con el fin de entregar más herramientas para mejorar la estimación de estos caudales de diseño.

¹Jefe Grupo Estudios Hidrológicos, ENDESA – mail: hkf@endesa.cl

²Ingeniero de Proyecto, Especialidad Hidráulica, ENDESA – mail: rtg@endesa.cl

1. INTRODUCCION

En los últimos años ha ido adquiriendo cada vez más importancia la determinación de la Crecida Máxima Probable (CMP) como uno de los factores relevantes para determinar los caudales de diseño de las obras de evacuación de crecidas en presas de embalse. Esto, tomando en cuenta los daños significativos que pueden ocasionarse en las propiedades ubicadas aguas abajo de la presa y las potenciales pérdidas de vidas humanas.

En Estados Unidos por ejemplo, la FERC (Federal Energy Regulatory Commission), en el Capítulo VIII de su publicación “Engineering Guidelines for Hydropower Projects”, septiembre 2001, indica en relación a la CMP, que en EUA, en los últimos 50 años, ella ha sido generalmente aceptada como la crecida de diseño de las presas cuya falla plantea una amenaza a la seguridad pública. También, en muchos otros países, la CMP ha sido aceptada como la crecida de diseño de grandes presas.

El cálculo de la CMP es altamente complejo y de acuerdo a la experiencia internacional, se han encontrado inconsistencias en su determinación. Estas inconsistencias son el resultado en parte de las diferentes metodologías aplicadas, pero principalmente debido a las diferentes suposiciones y valores que se adoptan de los parámetros requeridos en su determinación.

El presente trabajo es una continuación y profundización del presentado en el XIX Congreso Chileno de Hidráulica de la SOCHID “Estimación de Crecidas Máximas Probables de Origen Hidrometeorológico” (King H. y Tapia R., 2009) en el cual se determinó y aplicó una metodología que permitió estimar en forma práctica las CMP en las zonas de las presas de las centrales estudiadas en los ríos Baker y Pascua asociadas al proyecto Hidroeléctrico Aysén.

En este estudio se resume parte de la experiencia internacional que se ha adquirido en la determinación de la CMP y su relación con los otros procedimientos de uso habitual en la definición de caudales de diseño en obras de embalses importantes, como es el caso de los caudales de crecidas obtenidos para diferentes períodos de retorno mediante Análisis de Frecuencia.

El objetivo principal es sintetizar esta experiencia, con el fin de entregar más herramientas a los hidrólogos y/o proyectistas para mejorar la estimación de estos caudales de diseño.

2. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LA DETERMINACION DE LA CMP

Existen diferentes definiciones de la CMP, pero en general estas son similares. Se puede señalar, de acuerdo a la World Meteorological Organisation (WMO, 1974), que es la crecida que puede esperarse de la más severa combinación de las condiciones meteorológicas e hidrológicas que son razonablemente posibles en una región. Normalmente, esta crecida es la respuesta que se espera en la cuenca afluente al embalse, debido a una precipitación extrema que se conoce con el nombre de Precipitación Máxima Probable (PMP).

Muchos factores meteorológicos e hidrológicos afectan la magnitud de la CMP. El más importante es la Precipitación Máxima Probable (PMP) y su distribución espacial y temporal, las

características del terreno (pérdidas por retención, uso del suelo, almacenamientos, estimación de la infiltración (Curvas Número (CN)), etc.), tormentas antecedentes y la definición del hidrograma unitario (método de determinación, tiempo de concentración, etc.).

En cuanto a la estimación de la PMP, es de uso habitual determinar la PMP en cada una de las estaciones pluviométricas existentes en la cuenca en estudio mediante el método de Hershfield y trazar un plano de isoyetas.

En general, al calcular la CMP existe la tendencia a maximizar cada uno de los factores recién mencionados, los cuales son de difícil determinación, por lo cual, normalmente se obtienen caudales de diseño excesivamente conservadores (sobrevalorados), con la correspondiente incidencia en la magnitud y costo de las obras. Por este motivo es importante hacer un análisis de sensibilidad, haciendo variar los distintos factores que inciden en el cálculo de la CMP y ver el rango de variación que puede tener ésta.

3. EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA ESTIMACIÓN DE LA CMP

En este capítulo se sintetiza las principales conclusiones obtenidas en la presente investigación, al revisar y analizar diversas publicaciones internacionales y estudios relacionados con el cálculo de la CMP.

3.1 Panel de expertos Alberta Canadá (Alberta Transportation, 2004)

En la provincia de Alberta, Canadá, han encontrado aparentes inconsistencias en la estimación de la CMP y de los caudales máximos obtenidos con análisis de frecuencia, utilizados en el diseño y evaluación de estructuras hidráulicas importantes. Estas inconsistencias parecen ser el resultado en parte, de las diferentes metodologías utilizadas, pero principalmente por las diferentes suposiciones y los valores adoptados en los diversos parámetros involucrados en los cálculos.

Con el fin de lograr una mayor consistencia en las estimaciones de caudales extremos y abordar el problema potencial de obtener valores muy conservadores (sobrevalorados) debido a las combinaciones extremadamente improbables de los factores involucrados en los cálculos, la Agencia de Transportes de la Provincia de Alberta contrató a un Panel de Expertos de todo Canadá para preparar unas Guías para el Análisis de Caudales Extremos. A continuación se detallan algunas de las principales conclusiones:

- Parece evidente que si la PMP, que es de muy baja probabilidad de ocurrencia, es combinada con condiciones antecedentes de similar baja probabilidad, el resultado de la CMP estimada podría ser exageradamente alto.
- Las magnitudes de los caudales extremos estimados pueden ser fuertemente afectados por las suposiciones de lluvia antecedentes y condiciones iniciales de humedad del suelo, almacenamiento superficial y escurrimiento.
- Para estudiar en conjunto la CMP y los análisis de frecuencia (Q v/s Tr), a pesar que no hay un consenso entre los profesionales, recomiendan asignarle a la CMP un periodo de retorno de 100.000 años.

- Estimaciones de la CMP y de los caudales de periodos de retorno altos, están sujetas a incertidumbres considerables y dependen de manera importante de las suposiciones y criterios de los analistas. Es importante que las estimaciones sean validadas y comparadas, con el fin de verificar que sean razonables y compatibles con estimaciones en otras cuencas.
- Una manera de chequear la CMP es compararla con el mayor caudal registrado en la cuenca o con el caudal correspondiente a un Tr de 100 años obtenido con análisis de frecuencia.
- En estudios preliminares, para calcular el volumen de escorrentía directa proponen utilizar un coeficiente de escorrentía $C = 0,75$ para cuencas con alto potencial de escorrentía. En cuencas de baja pendiente puede ser apropiado usar valores menores de C.

3.2 Probable Maximun Flood Estimated in Canada (Lum D.Y., 1991)

En este trabajo se revisa y discute sobre las suposiciones que se hacen en Canadá en la determinación de la CMP, los modelos computacionales, el cálculo de la PMP, de la CMP y métodos para minimizar las sobre y subvaloraciones en la estimación de la CMP. A continuación se presentan comentarios y resultados obtenidos.

- Los especialistas deben aplicar su experiencia, juicio y prudencia al definir las suposiciones requeridas para caracterizar los diversos factores que inciden en el cálculo de la CMP. Se deben efectuar tests de sensibilidad con estos factores, con el fin de evitar sobre y subvaloraciones de la CMP.
- Una práctica común es comparar la CMP con el caudal máximo instantáneo registrado (Q_{mi}). En el proyecto Surgeon R. se obtuvo para la relación CMP/ Q_{mi} valores comprendidos entre 3 y 5.
- En opinión de los autores, valores comprendidos entre 2 y 5 son razonables para la relación CMP/ Q_{mi} .
- La combinación de eventos extremos debe ser revisada, para evitar sobrevaloraciones en las suposiciones de los factores que inciden en los cálculos, que puedan conducir a sobreestimaciones de la CMP.
- Todos los datos de entrada (caudales, precipitaciones, etc.) deben ser sometidos a control de calidad, para identificar inconsistencias y datos erróneos.
- La CMP resultante debería ser chequeada con los resultados de otras cuencas. Por ej. las relaciones CMP/Área.

3.3 Experiencia en Suiza (Araya, R., 2006)

- Para garantizar una adecuada seguridad de una presa frente a crecidas, básicamente se utilizan dos criterios de cálculo: la CMP y una crecida de un determinado período de retorno (por ej. 1.000 años), dejando en este caso adecuadas reservas para el paso de crecidas mayores o eventos no previstos.
- En teoría, se debería dar preferencia al uso de la CMP dado su alto nivel de seguridad, pero considerando que su determinación es altamente problemática y cuando se dispone de suficiente información representativa de las precipitaciones y caudales, la tendencia es

a preferir el segundo criterio de diseño, es decir, Análisis de Frecuencia (Q vs Tr), con debidos resguardos.

- En Suiza puede suponerse, como base de cálculo, que el peak de la CMP es un 50% superior que el de la crecida milenaria.

3.4 Experiencia en Australia (Araya, R., 2006)

- En el año 1983 se emitieron las Guías ANCOLD para definir las crecidas de diseño. En estas guías se hace notar que la filosofía asociada al cálculo de la CMP debe llevar a valores razonables de ésta, es decir, los meteorólogos e hidrólogos deben cuidarse de dar las mejores estimaciones de los parámetros involucrados, sin incrementar los márgenes de seguridad combinando eventos de muy baja probabilidad de ocurrencia.

3.5 Experiencia en Noruega (Araya, R., 2006)

- En Noruega, un Comité gubernamental se encargó de establecer regulaciones para el diseño de las presas, las que se hicieron efectivas a partir del año 1981. Los ríos generalmente se caracterizan por tener crecidas asociadas al derretimiento de nieves y a crecidas pluviales.
- Para mejorar la confiabilidad de las estimaciones de las crecidas, cuando existen valores observados, se suele compararlos con las estimaciones de las PMP y las CMP. Es así como en la mayoría de las regiones de Noruega, las precipitaciones máximas observadas corresponden a cifras del orden de un 40 a 60% de los valores de la PMP.
- El autor indica que las crecidas calculadas son eventos muy extremos, cuya exactitud no puede verificarse ni empírica ni matemáticamente. Por tal motivo, se indica que los juicios subjetivos emitidos por ingenieros o hidrólogos experimentados deben ser siempre escuchados.

3.6 Experiencia en China (Araya, R., 2006)

- Desde hace bastantes años se ha utilizado la Precipitación Máxima Probable (PMP) y la crecida correspondiente (CMP) en diversos proyectos de gran envergadura, como es el caso de Las Tres Gargantas. El autor señala que el método es difícil de utilizar, pues en China las cuencas abarcan diversas zonas, con diferentes características orográficas. Estos factores causan incertidumbre, por lo cual las estimaciones de la CMP pueden variar en un amplio rango.
- Por lo recién señalado, normalmente comparan la PMP y la CMP con los valores de un temporal con período de retorno de 10.000 años, obtenido por análisis de frecuencia. Basándose en las cantidades involucradas, en la representatividad y precisión de la información y en los probables errores de cálculo, se decide razonablemente cuál es la crecida de diseño que finalmente se adoptará.

3.7 Maximun Precipitation Deviations in Colombia (Mejía G., Villegas F., 1979)

En este trabajo se aplica el Método de Hershfield para determinar precipitaciones extremas (Xmax), como es el caso de la PMP, en Colombia. La expresión es:

$$X_{max} = X_n + K_m * S_n \quad (1)$$

En que X_n es la media y S_n la desviación estándar de una serie de n precipitaciones máximas diarias anuales.

- Los autores determinaron valores de K_m a partir de 82 estaciones pluviométricas existentes a lo largo de Colombia y trazaron curvas envolventes (Prec. Máx. en 24 horas vs K_m). Los valores resultaron inferiores a los determinados por Hershfield. El valor medio estimado fue $K_m = 8$.
- Es posible utilizar los factores de frecuencia K en la determinación de caudales para diferentes períodos de retorno. Si se aplica la distribución de Gumbel, para $Tr = 1.000$ años se tiene $K = 5,5$. Al hacer una aplicación en el Proyecto El Quimbo (río Magdalena), considerando $K = 15$ para la CMP, se obtiene una relación del siguiente orden:

$$[CMP/Q(Tr = 1.000 \text{ años})] = 2,3 \quad (2)$$

3.8 Río Magdalena, Colombia. (Estudio Prefactibilidad Proyecto El Quimbo, 2006)

En el río Magdalena, en el sector del proyecto hidroeléctrico El Quimbo, se estimó una CMP de $18.817 \text{ m}^3/\text{s}$. En la Figura 1 se compara dicho resultado, con los caudales estimados a partir de análisis de frecuencia de caudales máximos instantáneos (Q vs Tr) en el lugar del proyecto. También se incluye el análisis de frecuencia en la estación hidrométrica Puente Balseadero ubicada a algunos kilómetros aguas arriba de la presa.

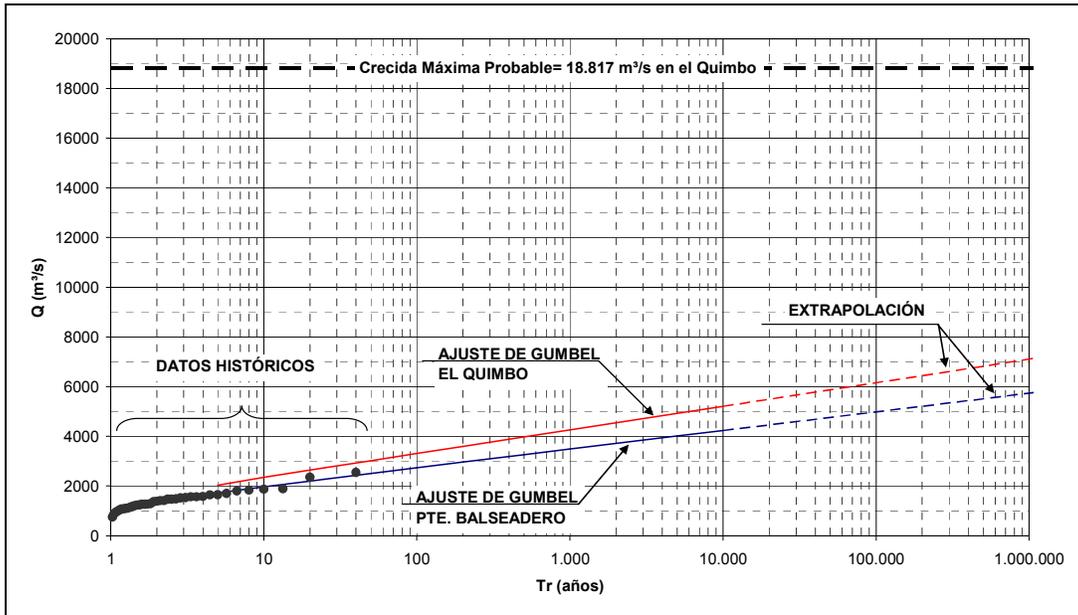


Figura 1
Río Magdalena, en Puente Balseadero y Presa El Quimbo

En este cálculo de la CMP se ha maximizado cada uno de los factores que la afectan obteniéndose un caudal de diseño excesivamente conservador.

3.9 Estimación de Crecidas Máximas Probables de Origen Hidrometeorológico (King H., Tapia R., 2009)

En este estudio se determinaron relaciones entre la CMP y caudales obtenidos para $Tr= 1.000$ y 10.000 años, mediante análisis de frecuencia de series de caudales máximos anuales. El método se basó en los resultados obtenidos en diversas obras de embalse en Chile, en las que se calculó en forma detallada la CMP y los caudales mediante análisis probabilísticos. Las relaciones obtenidas varían en torno a los siguientes valores:

$$[CMP/Q(Tr= 1.000 \text{ años})] = 2,0 \quad (3)$$

$$[CMP/Q(Tr= 10.000 \text{ años})] = 1,5 \quad (4)$$

También se le estimaron períodos de retorno a las CMP, extrapolando las curvas obtenidas en los análisis de frecuencia y asociando las CMP a estas curvas.

Se estimó para las CMP un período de retorno $Tr= 300.000$ años.

3.10 Sobrevaloraciones en las estimaciones de CMP (Wang y Rewell; 1983)

A continuación se indican algunas consideraciones y análisis efectuados en esta publicación:

- A menudo se asume que la magnitud de la CMP es un valor definitivo y que puede determinarse con precisión, lo que está lejos de ser válido. Dependiendo de las suposiciones y datos utilizados en el análisis, la estimación de la CMP puede variar en un amplio rango de valores, con tendencia preferente a sobrevalorarla.
- Una aproximación lógica para evaluar el grado de sobrevaloración asociado con la estimación de una CMP es determinar la probabilidad de ocurrencia de cada factor maximizado que interviene en su cálculo y determinar la probabilidad combinada de estos factores ocurriendo simultáneamente. Sin embargo, esta aproximación es difícil de realizar.
- En relación a lo recién señalado, los autores de este trabajo proponen un método menos riguroso y un poco más subjetivo. Consiste en asignar un valor índice a cada factor considerado en la estimación de la CMP. Dentro del rango asignado a cada factor, los valores índices son seleccionados de modo que los valores más altos reflejen la mayor sobrevaloración. De esta manera, la sobrevaloración total de la estimación es medida por la suma de los índices individuales. De todos los factores que afectan el cálculo de la CMP, la PMP es lejos el más importante.
- Conociendo cuan conservador es el valor estimado de la CMP, en el rango de las posibles estimaciones, el hidrólogo y/o proyectista podrá tomar una mejor decisión del caudal de diseño de la obra en estudio.

3.11 On the relationship between the 10.000 year flood and CMP (Zhou, R.D., Donnelly C.R., 2008)

Este interesante trabajo presenta un método para analizar la relación entre la CMP y el caudal obtenido para $Tr= 10.000$ años mediante análisis de frecuencia de una serie de caudales máximos anuales. El estudio está basado en prácticas aceptadas y utilizadas en Canadá y EUA. A continuación se indican las principales consideraciones y resultados de este estudio.

- Tanto la determinación de la CMP como la estimación de caudales máximos para Tr altos (por ej. 10.000 años o superiores) mediante análisis probabilísticos, están sujetos a imprecisiones. Cualquier estimación de la CMP es bastante incierta, debido a que en su cálculo se deben asumir un número significativo de suposiciones, tanto para determinar la PMP como la CMP. Por lo anterior, no se puede afirmar que la CMP es un método más exacto para establecer un evento extremo.
- Ciertamente, la CMP debe ser mayor que el caudal máximo estimado para $Tr= 10.000$ años, por consiguiente, se asume que debe existir algún tipo de relación entre ambas magnitudes de crecidas.
- Hay muy poca literatura en que se analiza la relación existente entre los dos importantes tipos de crecidas recién mencionados (por ej. [CMP/Q($Tr= 1.000$ o $Tr= 10.000$ años)]).
- El establecimiento de una relación entre ambos eventos extremos puede servir como una herramienta para que los encargados del proyecto tomen decisiones seguras y razonables al fijar el caudal de diseño en las presas de embalses.
- Primero, los autores asumen que existe linealidad hidrológica, es decir, la relación [CMP/Q($Tr= 10.000$ años)] será igual a [PMP/P($Tr= 10.000$ años)]. Esto, suponiendo que los coeficientes de escorrentía (C) de ambos eventos extremos son iguales, lo que es válido si el terreno está saturado en los dos casos.

Aplicando el Método de Hershfield, la relación [PMP/P($Tr= 10.000$ años)] queda definida por los respectivos coeficientes K de Hershfield y el coeficiente de variación C_v obtenido de la serie de precipitaciones máximas anuales. Haciendo variar C_v entre 0,2 y 1,5 y K_{pmp} entre 13 y 19, los autores determinaron que la relación varía entre 1,53 y 2,66 con un valor medio cercano a 2, es decir, se puede asumir en forma aproximada:

$$[CMP/Q(Tr= 10.000 \text{ años})]= 2$$

Por último, señalan que teniendo un período razonable de estadísticas (50 años o más), el cálculo detallado de la CMP no es mejor o peor que el obtenido a partir de $Q(Tr= 10.000$ años), aplicándole un factor cercano a 2, que depende de C_v .

3.12 National Resources Conservation Service, National Engineering Handbook, (USDA 2004)

- En el capítulo 9 de esta publicación “Hydrologic Soil-Cover Complexes”, se incluyen las tablas con valores de las Curvas Número (CN) para los distintos tipos de suelos y plantaciones. Un alto valor de CN indica un alto porcentaje de escorrentía potencial en relación a la precipitación que la origina. Se indica también el procedimiento utilizado, el cual consistió en determinar valores promedios de CN para cada cuenca a partir de la

relación precipitación-escorrentía. Esto se realizó en cuencas con áreas menores a 1 milla².

4. CRITERIOS PARA DEFINIR EL CAUDAL DE DISEÑO

De acuerdo a la experiencia internacional, para definir el caudal de diseño es recomendable comparar el resultado obtenido al aplicar el método de la CMP, con otras formas de estimar las crecidas de acuerdo a la información disponible en la cuenca en estudio. Entre estos procedimientos se pueden mencionar:

- Aplicación de un factor de seguridad al caudal máximo histórico observado.
- Aplicación de fórmulas empíricas de estimación de crecidas.
- Curvas envolventes.
- Análisis de frecuencias de crecidas (comparación de la CMP con caudales para períodos de retorno (Tr) de 1.000 o 10.000 años).
- Comparación con resultados obtenidos en otras cuencas.

Una vez hecho este análisis, los hidrólogos y/o proyectistas deben definir el caudal de diseño recomendado, según sus criterios y experiencias, con el fin que este caudal sea un valor seguro pero razonable.

5. CONCLUSIONES

En los últimos años ha ido adquiriendo cada vez más importancia la determinación de la Crecida Máxima Probable (CMP) como uno de los factores relevantes para determinar los caudales de diseño de las obras de evacuación de crecidas en presas de embalse.

Cualquier estimación de la CMP es bastante incierta, debido a que en su cálculo se deben asumir un número significativo de suposiciones, tanto para determinar la PMP como la CMP. Así, se obtienen rangos amplios de valores.

Muchos factores meteorológicos e hidrológicos afectan la magnitud de la CMP. El más importante es la Precipitación Máxima Probable (PMP) y su distribución espacial y temporal. También influyen bastante las características del terreno (pérdidas por retención, tipo y uso del suelo), que inciden en la Curva Número. Respecto a este último factor, hay que considerar que los valores de CN, en el procedimiento del US Soil Conservation Service, fueron obtenidos en cuencas experimentales de pequeño tamaño y que en cuencas grandes, el efecto de atenuación y almacenamiento en la red hidrográfica juega un rol significativo.

En general, al calcular la CMP existe la tendencia a maximizar cada uno de los factores recién mencionados, los cuales son de difícil determinación, por lo cual, normalmente se obtienen caudales de diseño excesivamente conservadores (sobrevalorados), con la correspondiente incidencia en la magnitud y costo de las obras.

Para definir el caudal de diseño es recomendable comparar el resultado obtenido al aplicar el método de la CMP, con otras formas de estimar las crecidas de acuerdo a la información disponible en la cuenca en estudio (ver capítulo 4).

Una vez hechos los estudios de crecidas con los análisis de sensibilidad, los hidrólogos y/o proyectistas deben definir el caudal de diseño recomendado, según sus criterios y experiencias, con el fin que este caudal sea un valor seguro pero razonable.

A continuación se presenta un resumen de las relaciones obtenidas entre la CMP y caudales obtenidos mediante análisis de frecuencia. También se compara las CMP con los máximos históricos.

Tabla 1 Relaciones obtenidas entre la CMP y Q(Tr= 1.000 Años)

CMP/Q(Tr=1.000 años)	Estudio
1,5	Suiza (Araya R., 2006)
2,3	Colombia (Mejía, Villegas, 1979)
2,0	Chile (King, Tapia, 2009)

Tabla 2 Relaciones obtenidas entre la CMP y Q(Tr= 10.000 Años)

CMP/Q(Tr=10.000 años)	Estudio
1,5	Chile (King, Tapia, 2009)
2,0	Canada (Zhou, R. D. et al, 2008)

Tabla 3 Relaciones obtenidas entre la CMP y Q (máx. histórico)

CMP/Qmáx. histórico	Estudio
2 a 5	Canada (Lum, D. Y., 1991)

Tabla 4 Estimaciones de un periodo de retorno para la CMP

Tr estimado (años)	Estudio
100.000	Canada (Alberta Transportation, 2004)
300.000	Chile (King, Tapia, 2009)

REFERENCIAS

Alberta Transportation. Transportation and Civil Engineering Division. 2004. Guidelines On Extreme Flood Analysis. Alberta, Canada.

Araya, R, 2006. Proyecto Hidroeléctrico Aysén. Evacuadores de Crecidas de las Presas – Conceptos Básicos para definir los Caudales de Diseño, Endesa, Chile.

Emgesa, 2008. Estudio Prefactibilidad Proyecto Hidroeléctrico El Quimbo. Informe de Crecientes para Diseño de la Presa y Obras Anexas, Colombia.

King, H, Tapia R., 2009, Estimación de Crecidas Máximas Probables de Origen Hidrometeorológico, XIX Congreso Chileno de Hidráulica, Chile.

Lum, D. Y.1991. Probable Maximum Flood Estimates in Canada, Conference Whistler, Session 5 - Floods, Page 369. Ontario, Canada.

Mejía, G., Villegas F. 1979. Maximum Precipitation Deviations in Colombia, Integral Ltda. Medellín, Colombia.

USDA, 2004. Natural Resources Conservation Service, National Engineering Handbook, Chapter 9: Hydrologic Soil-Cover Complexes, , United States Department of Agricultura, Washington, D.C.

Wang B. H., Revell R. W. 1983. Conservatism of Probable Maximum Flood Estimates, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 109, N° 3, ASCE: American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.

WMO, 1974. Guide to Hydrological Practices, Chapter 5: Hydrological Analysis, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Zhou, R.D., Donnelly C.R., Judge P, 2008 On The Relationship Between The 10,000 Year Flood And Probable Maximum Flood, HydroVision.