

CONSIDERACIONES HIDROLÓGICAS EN RELACIÓN CON AÑOSAS PRESAS ARGENTINAS

Por: Guillermo V. Malinow ⁽¹⁾, gmalinow3@gmail.com, Buenos Aires, junio de 2020



Vista del dique derivador Ing. Rodolfo Ballester, obra construida sobre el río Neuquén a 30 km aguas arriba de la ciudad de Neuquén. Fue diseñada a principios del siglo XX y habilitada una primera parte en el año 1918.

Este documento reúne 60 presas argentinas que cuentan con más de 50 años en funcionamiento (ver el Cuadro N° 1 con la clasificación de sus edades), tratando el tema desde la cuestión hidrológica a la luz de los criterios de seguridad aceptados en la actualidad; por lo que puede implicar una falla de las mismas para las comunidades e infraestructura existente en el área de su influencia.

Cuando se concibieron muchas de estas obras hidráulicas, del orden de 10 años antes de su puesta en servicio, uno de los primeros tropiezos que debieron haber sorteado los proyectistas fue estimar el aporte hídrico resultante de hipotéticos eventos extremos, partiendo de registros históricos inexistentes o bien que cubrían pocas décadas, para a partir de los mismos diseñar tanto la capacidad de los medios de evacuación como eventuales normas de manejo de embalses.

Algunos vertederos fueron diseñados mediante fórmulas empíricas de la Hidráulica apoyándose en la experiencia de los proyectistas. Hechos catastróficos ocurridos en el mundo sobre estas estructuras hidráulicas han motivado a los ingenieros de presas a emplear criterios cada vez más severos, apuntando así a asumir la posible ocurrencia de eventos límites o a lo sumo de períodos teóricos de recurrencia muy grandes.

⁽¹⁾ Ingeniero Civil, Miembro Honorario del Comité Argentino de Presas

Cuadro N° 1: Cantidad de presas argentinas según su edad

EDAD (años)	CANTIDAD
$E > 100$	1
$100 \leq E > 90$	3
$90 \leq E > 80$	4
$80 \leq E > 70$	19
$70 \leq E > 60$	14
$60 \leq E \leq 50$	19

Se asume que la vida física de una presa puede ser de varios siglos y por lo tanto la probabilidad que durante dicho tiempo ocurra una o más veces una crecida igual o superior a la adoptada en su proyecto es un hecho que nos obliga a meditar. Si por ejemplo una presa fue diseñada para poder controlar una crecida milenaria, es decir un evento con un tiempo de retorno de 1.000 años, éste tiene entre 5% y 10% de probabilidad de ocurrir en cualquiera de las presas recopiladas en el Anexo, por tener las mismas más de 50 años hasta inclusive superar los 100 años de edad.

Resulta interesante comentar un estudio comparativo llevado a cabo hace algún tiempo por diferentes organismos federales de EEUU que sigue teniendo vigencia como estudio testigo. A partir de importantes eventos hidrológicos registrados en ese país, se determinó el porcentaje que representaba el caudal máximo (Q_{\max}) de la crecida más importante registrada en una cierta cuenca respecto de la crecida máxima probable ⁽²⁾ (CMP) estimada para la misma.

El análisis abarcó grandes crecidas de miles de lugares sobre el total territorial y de 600 casos críticos recopilados se seleccionaron 61 crecidas extremas. Los resultados mostraron que el 15% de tales crecidas registraron un Q_{\max} que se ubicó entre $0,8 \geq CMP \leq 1$ de los adoptados para tales cuencas. Lo expresado nos indica nuevamente la necesidad de aceptar que, aunque ello sea poco probable, tales eventos extremos pueden presentarse en alguna oportunidad durante la vida física de una presa.

Conscientes de la gravedad de lo expresado, en el Seminario Argentino de Grandes Presas realizado en Salto Grande en 1994, organizado por el Comité Argentino de Presas, se concluyó que el riesgo de falla de una presa es una de las inevitables cargas de nuestra civilización, siendo función del Estado, en su indelegable responsabilidad de garantizar la protección pública, minimizar este riesgo. La seguridad de las presas requiere de la consideración de factores adicionales a los estrictamente técnicos, tales como el asegurar la aplicación de adecuadas políticas y prácticas administrativas en el desarrollo de los proyectos y la construcción de las obras.

Además se mencionó en aquella oportunidad que los avances registrados tanto en el conocimiento científico como sobre técnicas de cálculo, más la nueva información hidrológica disponible, obligaban a una revisión periódica sobre la vigencia de los parámetros hidráulicos adoptados durante el diseño de las obras. Asumiendo que algunos titulares de las obras dedicaban poco o ningún es-

(2) crecida que puede ser esperada a partir de las más severas combinaciones críticas de las condiciones meteorológicas e hidrológicas que sean razonables en un sitio determinado de la cuenca bajo estudio.

fuerzo para desarrollar tales estudios, el plenario recomendó se realicen obligatoriamente los estudios para revisión del riesgo hidrológico de todas aquellas presas para las cuales hayan transcurrido 30 años o más desde que fueron estimados sus parámetros hidrológicos de diseño.

Transcurridos 25 años desde aquel importante evento y al crearse luego un organismo estatal dedicado a velar por estas cuestiones como es el Organismo Regulador de Seguridad de Presas – ORSEP, muchas presas fueron auditadas, sin tenerse conocimiento que esa actividad haya abarcado a la totalidad de las obras más longevas aún en funcionamiento.

2.- Algunos criterios de diseño adoptados en antiguas presas argentinas

2.1 Diseño hidráulico del derivador Ing Rodolfo Ballester, río Neuquén, provincia de Neuquén

En el plan que presentara el Ing. César Cipolletti al Gobierno nacional hacia fines del siglo XIX denominado “Regularización del Régimen del Río Negro”, para disminuir las crecidas del río Neuquén ⁽³⁾, se propuso desviar sus excedentes a una depresión natural conocida como cuenca Vidal. Para tal fin en 1904 se concluyeron los relevamientos topográficos iniciándose el diseño del futuro dique Neuquén, hoy denominado Ing. Rodolfo Ballester, en honor a quien había dirigido gran parte de los trabajos de construcción del mismo. La primera etapa de esta obra, de acuerdo al proyecto original, consistía en 12 compuertas y quedó habilitada en el año 1918, luego su capacidad se amplió con 5 compuertas adicionales, etapa que quedó concluida en el año 1932.

Esta obra hidráulica ubicada a 30 km de la ciudad de Neuquén, además del rol de atenuador de crecidas, dio nacimiento al sistema de riego del Valle Inferior del río Neuquén y del Alto Valle del río Negro hasta la localidad de Chichinales. Hasta comienzos de la década del '70 sirvió para atenuar las crecidas del río Neuquén mediante el desvío de los excedentes hídricos a la cuenca antes mencionada, que hoy con un espejo de agua de 112 km² constituye el lago Carlos Pellegrini.

Por considerarse que su capacidad resultaba insuficiente para controlar las grandes crecidas de este río, en la década del '20 del siglo XX se completaron los primeros esquemas del Complejo Cerros Colorados aprovechando otras dos depresiones naturales, Los Barreales y Mari Menuco; obras que, materializadas en la década del '70, pasaron a cumplir un importante rol para control de las crecidas del río.

El proyecto original del dique Neuquén fue previsto para una capacidad de evacuación cercana a 5.000 m³/s. El Ing. Rodolfo Ballester, contando con los estudios realizados para la construcción del puente ferroviario sobre este río (que une las ciudades de Cipolletti y Neuquén), procedió en 1915 a estimar los máximos caudales tanto de la gran crecida registrada en julio de 1899 como de la posterior ocurrida en julio de 1900. Éste concluyó que la primera pudo haber superado los 9.000 m³/s, circunstancia que motivó la ampliación del proyecto con 5 compuertas adicionales para alcanzar una capacidad total de evacuación de 8.000 m³/s.

Cabe mencionar que en mayo de 1915 se produjo otra crecida de significación que impactó sobre los trabajos de construcción y montaje en plena ejecución de las obras, siendo este hecho el que coadyuvó finalmente a decidir el aumento de la capacidad de evacuación de la presa.

Aguas arriba de la presa, por su margen izquierda se construyó la obra de derivación que conduce al canal matriz para riego y el nacimiento del canal derivador de excedentes al lago antes citado, el cual fue diseñado para conducir un caudal máximo de 2.000 m³/s cuando por el río se registrara una crecida de 5.000 m³/s.

(3) vocablo que en lengua mapuche significa impetuoso, arrogante o que posee gran fuerza.

Transcurrido un siglo desde el diseño de la capacidad de evacuación de esta presa, el río Neuquén registró el 12 de julio de 2006 una crecida con un caudal máximo extraordinario de 10.347 m³/s. De no estar en operación la obra cabecera del Complejo Cerros Colorados, ubicada a 80 km aguas arriba del dique R. Ballester, éste hubiera colapsado impactando fuertemente a la región.

A raíz de este evento extraordinario se procedió a estimar la CMP del río Neuquén en Paso de los Indios, paraje ubicado aguas arriba de las obras citadas. Como resultado se obtuvo que el caudal máximo de este hipotético escenario sería de 25.070 m³/s, valor que debe ser considerado como referencia para cualquier nuevo proyecto hidráulico en esta cuenca dada las importantes poblaciones, áreas agrícolas e infraestructura existentes en la actualidad.

2.2 Diseño hidráulico de la presa Nihuil I, río Atuel, provincia de Mendoza ⁽⁴⁾

Disponiendo datos hidrológicos del río Atuel cubriendo menos de 30 años, en documentos del año 1938 se explicaba que la capacidad del vertedero se decidió diseñar por medio de cálculos hidráulicos. Es así que para una planta recta de 150 m de longitud y una carga máxima de 1,50 m sobre el umbral del mismo, se obtuvo una capacidad total de vertido de 600 m³/s.

Luego, partiendo del embalse lleno, se adoptó como hipótesis más desfavorable el arribo de una crecida con un caudal máximo de 2.000 m³/s. En tales circunstancias, erogando el caudal máximo de vertido y sin sobrepasar la carga de 1,50 m sobre el umbral del vertedero, se obtuvo como resultado que la operación se podía mantener en condiciones seguras cerca de 18 horas.

En la actualidad se realizaron estudios sobre el arribo de eventos extraordinarios para poder verificar la capacidad del vertedero de ésta presa, concluyéndose que el embalse El Nihuil posee una capacidad de almacenamiento y laminación que le permite actuar como regulador del sistema de aprovechamientos del río Atuel, principalmente en el rango de cotas para el cual opera una crecida extraordinaria.

Simulados varios escenarios extraordinarios para la verificación, el escenario hidrológico más desfavorable se adoptó partiendo con el embalse en el nivel máximo de operación normal y el arribo de la CMP sumada a un aporte por deshielo de 25 años de recurrencia. Para esta hipótesis y controlando la crecida, el nivel del embalse aún quedó 10 cm por debajo del nivel máximo de operación extraordinario vigente.

Se concluyó entonces que la presa Nihuil I no presentaría inconvenientes para absorber eventos de volúmenes excedentes y poder laminar los caudales máximos resultantes, alcanzando en el embalse siempre niveles inferiores al máximo de operación extraordinaria, por lo cual se consideró innecesario modificar las normas de operación vigentes.

Cabe citar que el escenario adoptado finalmente para la verificación de la capacidad del vertedero pone a la presa del lado de la seguridad ya que el mismo equivale a recrear el apocalipsis, en razón que estos eventos físicamente no ocurren en la misma época, las tormentas convectivas intensas son estivales y la fusión nival es consecuencia de la nieve caída en el invierno.

3.- Incidentes y accidentes en presas por el sobrepaso de las aguas

En los 50 años comprendidos en el período 1935-1985 se contabilizaron 173 presas que han fallado por diferentes motivos, de las cuales 80 presas - 46 % del total de casos - fueron superadas por las aguas tanto por insuficiente capacidad de evacuación como por inadecuado manejo de embalses o falla en el sistema de compuertas.

⁽⁴⁾ Recopilación propia de la información

En un número importante de casos tal falla condujo al colapso de la presa misma con consecuencias graves, más cuando aguas abajo existen zonas urbanas y rurales densamente pobladas, donde lamentablemente ante tales circunstancias se verifican pérdidas de vidas y bienes. Es por ello que son innumerables las presas a las cuales las autoridades de diversos países decidieron proceder a la revisión de los parámetros originales de diseño.

Se describen a continuación algunos escenarios de fallas posibles ante la ocurrencia de crecidas extraordinarias:

- a) Con el embalse en cota de espera (nivel mínimo durante la época de crecidas) ocurre una primera crecida de magnitud dentro del rango previsto que lleva a éste a una cota superior no crítica aún. Se programa su desembalse de acuerdo a lo previsto y ocurre una segunda crecida en el río, que aporta nuevo volumen al embalse. Se estará frente a una situación de emergencia que puede, eventualmente, obligar a decidir la apertura de las compuertas hasta el máximo lo cual puede generar una crecida artificial superior a las naturales registradas. De no ser suficiente esta decisión el embalse alcanzaría una cota inadmisibles con la seguridad de la presa y una inundación desastrosa aguas abajo.
- b) Se controla una crecida de magnitud dentro del rango previsto y por conflictos con ribereños de aguas abajo no se puede descargar el embalse al ritmo aconsejado por el proyecto. Resta entonces poco pulmón amortiguador y ocurre una segunda crecida de magnitud similar alcanzando rápidamente la cota de seguridad del embalse. La situación se hace incontrolable, pudiendo ser superada la cota de coronamiento de la presa en los instantes siguientes.
- c) Ocurre una crecida de magnitud dentro del rango previsto pero no se respetó la política de operación del embalse (por ej: para mantener salto máximo a los fines de optimizar la generación eléctrica), no se dispone de suficiente pulmón amortiguador de excedentes y el nivel del embalse asciende hasta superar la cota de coronamiento de la presa implicando eventualmente consecuencias graves.
- d) Por falta de un mantenimiento preventivo apropiado en los equipos hidroelectromecánicos (compuertas, mecanismos de izaje, fuentes alternativas de provisión de energía, etc.) no pueden utilizarse adecuadamente éstos durante la ocurrencia de una crecida de magnitud y el embalse asciende hasta cotas incompatibles con la seguridad de la presa, pudiendo en ocasiones producirse la falla.
- e) Ocurre una crecida de magnitud superior a la prevista en la etapa de proyecto, resulta insuficiente tanto el volumen destinado a la amortiguación de crecidas como la capacidad de descarga de los medios de evacuación (vertedero, descargador de fondo, etc.). El nivel del embalse asciende hasta cotas incompatibles con el proyecto y se produce el sobrepaso de la presa.
- f) La operación de un embalse puede ser modificada de hecho para evitar inundaciones en zonas ribereñas de aguas abajo. Esta restricción autoimpuesta puede llevar al embalse a niveles incompatibles con las condiciones de seguridad de la presa y recurrir luego a adoptar un vaciado forzoso del embalse o a la inevitable falla de la presa.

Para apreciar la dimensión de esta problemática, a modo de síntesis se describen a continuación los resultados de ciertas fallas.

3.1 Colapso de la presa Machhu II sobre el río Machhu, Estado de Gujarat, India

Posiblemente constituyó uno de los desastres más grandes de la historia de este tipo de accidentes. Colapsó el 11 de agosto de 1979 a raíz de haberse registrado en la cuenca del río una

lluvia torrencial que totalizó 508 mm en 21 horas, valor sin precedentes que coincidió con el promedio de la precipitación anual de esa región para los últimos 50 años. Se trataba de una presa con un cuerpo central del tipo de gravedad y ambos flancos de tierra, de 26 m de altura y con un volumen de agua almacenada de 100 hm³.

Tal tormenta generó una crecida con un caudal máximo superior a los 13.000 m³/s y dado que el vertedero estaba diseñado para una descarga máxima de 5.600 m³/s, las aguas sobrepasaron la presa erosionando en forma instantánea los flancos constituidos por materiales sueltos. Ello creó una onda de crecida con un frente de entre 8 a 10 m de altura que avanzó por el valle del río e impactó sobre la ciudad industrial de Morvi, ubicada a 9 km aguas abajo de la presa. Esta contaba entonces con 73.000 habitantes, provocando la muerte de más de 2.000 personas.

La presa fue reconstruida y el vertedero se decidió tuviera capacidad suficiente para soportar la CMP. El estudio realizado considerando la tormenta que provocó el accidente de la presa arrojó como resultado una CMP con un caudal máximo de 20.900 m³/s. En junio de 1983 y cuando se estaba llevando a cabo esta evaluación, se produjo una excepcional tormenta ciclónica proveniente del Mar Árabe. Ésta fue mucho más severa que la que provocó el colapso de la obra, lo cual obligó a estudiar nuevamente la CMP arribándose a un nuevo caudal máximo de 26.400 m³/s, valor adoptado finalmente que resultó 4,7 veces superior al del diseño original.

3.2 Sobrepaso de la presa Rincón del Bonete, río Negro, República Oriental del Uruguay

Presa pensada en 1904, proyectada en 1933 e inaugurada en 1945. Durante el diseño, la máxima crecida registrada en 27 años de observaciones era de 3.800 m³/s y la crecida de diseño fue adoptada en 9.200 m³/s que se correspondía con un período de retorno de 1.000 años. Lamentablemente el 20 de abril de 1959 ocurrió una crecida extraordinaria cuyo caudal máximo fue estimado en 17.100 m³/s, próximo al doble de la crecida milenaria seleccionada.

Ante el arribo de tal crecida y como la presa de hormigón estaba siendo sobrepasada por las aguas, se decidió evacuar por completo la población de Paso de los Toros, ubicada aguas abajo (unas 10.000 personas más 2.000 de zonas aledañas), y por medio de dos voladuras del dique lateral se abrió una brecha con lo cual se pudo alcanzar una descarga máxima hacia aguas abajo de 10.800 m³/s. Esta onda, al llegar a la presa Baigorria (en construcción), inundó el recinto de la ataguía sufriendo daños de menor cuantía.

A raíz de este hecho y por disponerse de mayor información hidrológica del río, la crecida de diseño del vertedero fue revisada, estableciéndose como nuevo valor un caudal de 20.000 m³/s.

3.3 Presa Escaba sobre el río Marapa, provincia de Tucumán, Argentina ⁽⁵⁾

El 12 de abril de 2015 se registró una importante tormenta que generó una crecida extraordinaria y en la madrugada provocó un rápido ascenso del embalse hasta superar 0,80 m la cota de coronamiento de la presa y quedar 2,70 m por sobre la cota superior de las compuertas. Gracias a la existencia de un muro macizo de hormigón de 1,00 m de altura sobre el coronamiento, que hace las veces de baranda de protección, ello impidió el sobrepaso generalizado del agua por sobre la presa.

La cuenca donde está construida la presa es de tamaño relativamente pequeño, desarrollada en un entorno montañoso con laderas muy escarpadas, lo que hace muy dificultosa la operación del

⁽⁵⁾ Recopilación propia de la información

embalse. Al momento del inicio de la crecida éste se encontraba en cota máxima, en razón que el periodo de manejo de crecientes había concluido el 31 de marzo, por lo cual no existía ninguna posibilidad de atenuar el embate del agua sin superar el máximo nivel de operación normal para esa época del año.

Alrededor de las 6 de la mañana se registró un marcado ascenso del embalse de 1,10 m en una hora. En ese momento se intentaba la apertura de todas las compuertas al máximo, pero solo se logró abrir parcialmente dos. Ello se debió al bloqueo del sistema de izaje de las mismas por la sobrecarga sobre sus estructuras debido a que el nivel de agua había superado el nivel máximo extraordinario establecido. Esta crecida registró un caudal máximo de 1.845 m³/s cuya recurrencia luego fue estimada en 350 años.

Este incidente no ocasionó daños en la presa. Sólo se registró una erosión en el estribo de la margen izquierda de la misma debida presumiblemente al agua acumulada sobre el puente carretero. La máxima erogación alcanzada fue de 700 m³/s, estimaciones posteriores concluyeron que si se hubiera logrado abrir todas las compuertas como establece el procedimiento vigente, se habría erogado un caudal máximo de 1.386 m³/s, impactando en las poblaciones de Graneros y Lamadrid. En síntesis, la presa soportó la sobrecarga del agua y gracias a la falla del sistema de izaje de las compuertas el impacto aguas abajo fue menor.

3.4 Presa Warragamba, río Warragamba, Nueva Gales del Sur, Australia

Se trata de una presa de hormigón del tipo de gravedad con una altura de 137 m ubicada aguas arriba de la ciudad de Sydney, cuya construcción finalizó en 1960. El diseño original del vertedero fue previsto para soportar una crecida de 14.170 m³/s, caudal cuyo período de retorno se estimó en 500 años. Durante la construcción fue revisado este criterio, adoptándose una mayor capacidad de evacuación, de modo que pudiera controlar la crecida milenaria (TR = 1.000 años), la que fue estimada en 19.840 m³/s.

En 1985, teniendo en cuenta las consecuencias catastróficas que podía representar una falla de la presa tanto sobre la ciudad de Sydney como de otras ciudades ubicadas aguas abajo, se calculó la CMP con un caudal máximo se estimó en 40.000 m³/s. A partir de este resultado se decidió dotar al vertedero de una capacidad tal que le permita operar una crecida de tal magnitud.

4.- El diseño de vertederos frente a escenarios cambiantes

Cuando no se disponía de información hidrológica o la misma era escasa, los proyectistas empleaban métodos hidráulicos para dimensionar la capacidad de los vertederos basándose fundamentalmente en su propia experiencia.

Luego avanzando en el tiempo y disponiendo de una serie de caudales máximos, éstos se trataban estadísticamente por admitirse que el clima era estacionario, al menos en la escala de décadas. La crecida para concebir una presa podía seleccionarse desde un enfoque probabilístico a partir de la adopción de niveles de riesgo. Al verificarse modificaciones en el uso del suelo y cambios en los sistemas climáticos se considera que la probabilidad bajo condiciones no estacionarias ya no es constante y por tanto estaría en discusión la vigencia de tales métodos.

Al pensar que el comportamiento pasado del río ya no podría representar el del futuro, se realiza una primera estimación de la crecida para diseñar la capacidad de evacuación de la presa. Este resultado conviene ajustarlo por medio de un análisis basado en el riesgo incremental de falla de la misma. Partiendo de la premisa que la CMP es el límite superior de las crecidas a considerar, se podrá disminuir la crecida de diseño afluente (CDA) en condiciones seguras para la obra.

La CDA así seleccionada es entonces la crecida más severa en volumen, pico, forma, duración y tiempos con la que resulta conveniente diseñar la capacidad del vertedero de una presa. Valores superiores de la misma provocarían una mayor inundación aguas abajo en caso de fallar la obra, amenaza adicional considerada inaceptable.

En el Cuadro N° 2 se indica una clasificación de las presas en función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura, de su funcionamiento incorrecto o por la operación de crecidas extraordinarias. En el Cuadro N° 3 se indican los criterios para estimar tanto la CDA así como la crecida de verificación de la presa (CVP) para cada categoría de presas.

Cuadro N° 2

ENFOQUE CLÁSICO PARA CATEGORIZACIÓN DE PRESAS SEGÚN UNA VISIÓN SUBJETIVA DEL RIESGO POTENCIAL			
CATEGORÍA	A	B	C
RIESGO POTENCIAL DE LA PRESA	ALTO	SIGNIFICATIVO	BAJO
TIPIFICACIÓN	En esta categoría se incluyen aquellas presas en las que la falla o mala operación probablemente cause pérdidas de vidas humanas. Existiendo dicho peligro no serían atendibles otros aspectos para su categorización.	Esta categoría engloba a aquellas presas en las que la falla o mala operación resulta en una improbable pérdida de vidas humanas pero puede causar pérdidas económicas, daños localizados al ambiente, interrupción de instalaciones y comunicaciones. Estas presas pueden estar localizadas en zonas rurales pero con población y correspondiente infraestructura.	Son incluidas en esta categoría aquellas presas en las que la falla o mala operación resulta en una improbable pérdida de vidas humanas y bajas pérdidas económicas y ambientales. Las pérdidas importantes se limitan a las estructurales del cierre.
PÉRDIDA DIRECTA DE VIDAS	Se esperan pérdidas en una o más comunidades con desarrollos de consideración (residencial, comercial o industrial).	Panorama incierto, no prevista pero se admite tal posibilidad (zonas no urbanas con pocas residencias y solamente desarrollo transitorio o industrial)	No se esperan pérdidas, se trata de localizaciones rurales con viviendas habitadas con carácter no permanente, inundadas en forma discontinua.
PÉRDIDA DE SERVICIOS ESCENCIALES	Interrupción a niveles críticos: carreteras, caminos principales, vías férreas principales, importantes servicios u otras presas de aguas abajo.	Se esperan daños a caminos secundarios, vías férreas auxiliares e interrupciones de servicios públicos relativamente importantes.	Ninguna interrupción de servicios salvo caminos auxiliares, las reparaciones de los daños son simples o rápidamente solucionables.
PÉRDIDAS EN PROPIEDADES	Importantes pérdidas económicas con posibles daños de significación a comunidades, emprendimientos industriales, comerciales o agrícolas.	Pérdidas económicas apreciables. Afectación de cierta magnitud en instalaciones públicas y privadas. Fuentes alternativas de agua y energía disponibles.	Pérdidas económicas mínimas, construcciones rurales en zonas de tierras agrícolas, equipos y edificios privados aislados. Pérdidas indirectas de poca significación.
PÉRDIDAS AMBIENTALES	Alto costo de la mitigación o imposible solucionar el daño.	El impacto ambiental requiere una mitigación importante.	Se espera daño incremental mínimo.

Recopilación propia

Cuadro N° 3

Recomendaciones generales para la estimación de CDV y CVP en función de la categoría de la presa teniendo en cuenta posibles cambios en los sistemas climáticos		
CATEGORÍA DE LA PRESA	CRECIDA DE DISEÑO (m³/s)	CRECIDA DE VERIFICACIÓN (m³/s)
A	Q_d = QDA vía ARI (*)	Q_v = CMP
B	Q_d = QDA vía ARI (**)	Q_v = 0,75 CMP
C	Q_d = Q₁₀₀	Q_d = Q₁₀₀ a Q₁₅₀

(*) La CMP puede considerarse como límite superior

(**) Podría considerarse como límite superior el 75% de la CMP

ARI: análisis de riesgo incremental

Q₁₀₀: crecida de recurrencia media 100 años

Recopilación propia

5.- Comentarios Finales

Debe admitirse que las obras hidráulicas para almacenamiento de agua representan concepciones de alto poder destructivo realizadas por el hombre en tiempos de paz. El alto riesgo potencial implícito obliga a preservar permanentemente sus condiciones de seguridad, ya que la falla de una presa puede resultar de consecuencias catastróficas para la región, tanto en lo que se refiere a aspectos económicos y sanitarios como a la vida misma de los pobladores y sus bienes.

Si bien existe en el ámbito nacional un área especializada que vela por el mantenimiento de condiciones seguras en estas obras, como es el Organismo Regulator de Seguridad de Presas – ORSEP, éste tiene alcance a todas las presas de propiedad del Estado nacional o bien de propiedad de estados provinciales incluidas en contratos de concesión otorgados por el Estado nacional. A su vez se suman aquellas que, siendo de estados provinciales o de terceros, hayan sido puestas bajo su jurisdicción por convenios específicos, ejerciendo el poder de policía en su materia dentro del ámbito de su competencia.

Los aspectos que se enuncian seguidamente:

- técnicas de investigación más modernas y confiables,
- mayor rigurosidad de los criterios para la estimación de las crecidas de diseño y de verificación de las presas,
- mayores condicionantes ambientales para este tipo de obras,
- cambios en el comportamiento hidrológico de las cuencas hídricas tanto por la expansión de centros poblados, modificaciones en el uso del suelo y cambios esperados en los sistemas climáticos.

... son motivo suficiente para efectuar la revisión de la seguridad hidrológica de presas longevas, circunstancia que se superaría de contar con una legislación nacional que exija la periódica revisión de las condiciones de seguridad de las presas, embalses y obras auxiliares conexas. De esta manera todos los propietarios u operadores de presas estarían obligados a efectuar tales revisiones periódicas.

Referencias documentales

- AIC; "Cuenca de los Ríos Limay, Neuquén y Negro. Reseña de la Crecida del 12-13 de julio de 2006 del río Neuquén", Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro, Cipolletti, Río Negro, diciembre de 2006.
- AIC; Disposición N° 4120/08 "Revisión de la Estimación de la Crecida Máxima Probable (CMP) para la Cuenca del Río Neuquén" a la altura de Paso de los Indios – La Higuera", Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro, Cipolletti, Río Negro, 2008.
- CAP; Recomendación del Módulo 1: Riesgo Hidrológico; Tercer Seminario Argentino de Grandes Presas, Comité Argentino de Presas, Salto Grande, Entre Ríos, septiembre de 1994.
- CAP; "Registro de Presas Argentinas"; sitio oficial del Comité Argentino de Presas www.cagp.org.ar.
- FEMA; "Selecting and Accommodating Inflow Design Floods for Dams", FEMA # 94, Federal Emergency Management Agency, USA, 2004.
- JANSEN, R.B., "Dams and Public Safety"; Bureau of Reclamation, U.S. Department of Interior, Denver, CO, USA, 1980.
- MALINOW, G. V.; "Limitaciones del Lago Pellegrini como Atenuador de Excedentes Hídricos", Jornadas sobre Seguridad de las Obras Hidráulicas y Aspectos Vinculados con la Protección Civil en la Región del Comahue, Facultad de Ingeniería, U.N. Comahue, Neuquén, mayo de 1988.
- MALINOW, G. V.; "La Seguridad de Presas Existentes Durante Crecidas Extraordinarias", Segundo Seminario de Grandes Presas, Buenos Aires, octubre de 1990.
- MALINOW, G. V.; "Inundaciones debidas a la Operación o por Fallas de Obras Hidráulicas"; Relatoría del tema. Jornadas de Debate sobre Riesgo Hídrico, Inundaciones y Catástrofes, Buenos Aires, Argentina, marzo de 2004.
- MALINOW, G. V.; "Presas de Embalse y Riesgos de Inundación. Medidas No Estructurales Deseables", IV Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos, Posadas, Argentina, agosto de 2006.
- MALINOW, G. V.; "Cambio Climático ¿Nuevo Paradigma para Estimar la Crecida de una Presa?, Taller: Criterios para la Determinación de Crecidas de Diseño en Sistemas Climáticos Cambiantes, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, U.N. del Litoral, Santa Fe, agosto de 2009.
- MALINOW, G. V.; "Revisión de Criterios y Consideraciones Hidrológicas para el Diseño de Presas", Seminario: Gestión de la Seguridad de Presas, Comité Argentino de Presas, Cipolletti, Río Negro, noviembre de 2011.
- MISTRY, J. F. et al; "Estimation of Disastrous Flood at Machhu Dam - II on August 11-12, 1979 and Revised Design Flood for its Restoration"; 16° Congreso ICOLD, Q.63, R.63, San Francisco, CA, USA, 1988.
- PARRET, N. F. et al; "Decision Process Elements to Selecting Solutions for Hydrologic Deficiencies Existing Dams"; 16° Congreso ICOLD, Q.63, R.37, San Francisco, CA, USA, 1988.
- WANG, B.H.; "Determination of Design Flood for Spillways"; 16° Congreso ICOLD, Q.63, R.39, San Francisco, CA, USA, 1988.

ANEXO: PRESAS ARGENTINAS CON MÁS DE 50 AÑOS EN SERVICIO

	DENOMINACIÓN	AÑO DE HABILITACIÓN	RIO	PROVINCIA	TIPO DE PRESA	ALTURA DE LA PRESA (m)	PROPÓSITOS				
							CONTROL CRECIDAS	AGUA POTABLE	RIEGO	HIDROELECTRICIDAD	TURISMO Y RECREACIÓN
1	ING. BALLESTER	1918	Neuquen	Río Negro/Neuquén	Gravedad	20					
2	LA CIENAGA	1923	Perico	Jujuy	Tierra	27					
3	POTRERO DE FUNES	1927	Los Molles	San Luis	Arco	34					
4	PACHIMOCO	1928	Jáchal	San Juan	Gravedad						
5	LOS SAUCES	1931	Los Sauces	La Rioja	Escollera	42					
6	RÍO TERCERO	1936	Tercero	Córdoba	Tierra	10					
7	RÍO TERCERO I	1936	Tercero	Córdoba	Escollera	51					
8	ANZULON	1938	Anzulon	La Rioja	Enrocado	32					
9	CRUZ DE PIEDRA	1941	Cuchi Corral	San Luis	Contrafuerte	45					
10	EL GATO	1941	El Gato	San Luis	Tierra/Gravedad	16					
11	EL VASCO	1941	El Gato	San Luis	Tierra	10					
12	LOS ALAZANES	1941	Los Alazanes	Córdoba	Arco	34					
13	SAN FELIPE	1941	Conlara	San Luis	Contrafuerte/Gravedad/Escollera	27					
14	EL GATO	1941	El Gato	San Luis	Tierra/Gravedad	16					
15	SAN JERÓNIMO	1942	San Jerónimo	Córdoba	Gravedad	20					
16	LOS PAPAGALLOS	1943	Seco Papagallos	Mendoza	Enrocado	18					
17	CRUZ DEL EJE	1944	Cruz del Eje	Córdoba	Contrafuerte/Tierra/Gravedad	40					
18	LA VIÑA	1944	Los Sauces	Córdoba	Arco	106					
19	SAN ROQUE	1944	Primero	Córdoba	Gravedad	51					
20	ZANJÓN MAURE	1944	Seco Maure	Mendoza	Escollera	15					
21	CALANCATES	1944	Calacantes	Catamarca	Tierra	15					
22	EL JUMEAL	1945	La Florida	Catamarca	Escollera/Tierra	29					
23	EL NIHUIL	1947	Atuel	Mendoza	Gravedad	28					
24	ESCABA	1948	Marapa	Tucumán	Contrafuerte	83					
25	ESCABA	1948	Marapa	Tucumán	Gravedad	17					
26	PORTECELO	1948	Grande de Punilla	Córdoba	Gravedad	15					
27	JOSÉ I. DE LA ROZA	1949	San Juan	San Juan	Gravedad						
28	LOS QUIROGA	1950	Dulce	Sgo. del Estero	Gravedad/Tierra	31					
29	LA FLORIDA	1953	Quinto	San Luis	Contrafuerte	75					
30	LOS MOLINOS I	1953	Los Molinos	Córdoba	Arco	63					

Fuente: sitio web del Comité Argentino de Presas y recopilación propia

ANEXO: PRESAS ARGENTINAS CON MÁS DE 50 AÑOS EN SERVICIO (cont.)

	DENOMINACIÓN	AÑO DE HABILITACIÓN	RIO	PROVINCIA	TIPO DE PRESA	ALTURA DE LA PRESA (m)	PROPÓSITOS				
							CONTROL CRECIDAS	AGUA POTABLE	RIEGO	HIDROELECTRICIDAD	TURISMO Y RECREACIÓN
31	PIEDRA BLANCA	1953	Quinto	San Luis	Gravedad/Contrafuerte	63					
32	BATIRUANA	1954	Marapa	Tucumán	Contrafuerte	43					
33	LOS MOLINOS II	1954	Los Molinos	Córdoba	Gravedad/Esollera	33					
34	RIO TERCERO II	1955	Calamochita	Córdoba	Esollera	35					
35	IPIZCA	1956	Icaño	Catamarca	Arco	38					
36	VALLE FÉRTIL	1957	Valle Fértil	San Juan	Esollera	15					
37	LA CAÑADA	1958	Carpintería	Catamarca	Arco	34					
38	LOS CARDONES I	1958	Amaicha	Tucumán	Gravedad	30					
39	LOS CARDONES II	1958	Amaicha	Tucumán	Arco	26					
40	LUJÁN	1958	Luján	San Luis	Contrafuerte	47					
41	LA VIÑA (COMP.)	1959	Los Sauces	Córdoba	Gravedad	32					
42	OLTA	1960	Olta	La Rioja	Arco	52					
43	LANGUEYU	1961	Del Fuerte	Buenos Aires	Gravedad	15					
44	LAS PIRQUITAS	1961	Del Valle	Catamarca	Tierra	83					
45	MOTEGASTA	1962	Motegasta	Catamarca	Tierra	32					
46	SISCO	1962	El Sisco	La Rioja	Arco	22					
47	FLORENTINO AMEGHINO	1963	Chubut	Chubut	Contrafuerte	113					
48	COYAGASTA	1964	Coyagasta	Catamarca	Arco	36					
49	VALLE GRANDE	1965	Atuel	Mendoza	Contrafuerte	115					
50	EL CADILLAL	1966	Sali	Tucumán	Tierra	85					
51	ING. BENJAMÍN REOLIN	1966	Tercero	Córdoba	Gravedad	48					
52	RÍO HONDO	1967	Dulce	Sgo. del Estero	Tierra/Contrafuerte	40					
53	RIO TERCERO III	1967	Calamochita	Córdoba	Gravedad	47					
54	AISOL	1968	Atuel	Mendoza	Gravedad	38					
55	LOS CAUQUENES	1968	Las Carretas	San Juan	Arco	45					
56	ROCA	1968	Zanjón Roca	Río Negro	Tierra	25					
57	PISCO HUASI	1968	Pisco Huasi	Córdoba	Gravedad						
58	SAUCE MAYO	1969	Quimilpa	Catamarca	Tierra	33					
59	SUMAMPA	1969	Sumampa	Catamarca	Tierra	44					
60	ULLUM	1969	San Juan	San Juan	Gravedad	33					

Fuente: sitio web del Comité Argentino de Presas y recopilación propia