

LA PARADOJA. LAS NUEVAS NORMAS TÉCNICAS DE SEGURIDAD REDUCEN LA SEGURIDAD EXIGIDA A LAS PRESAS (EXISTENTES Y FUTURAS)

La idea central de este texto es poner de manifiesto que las Normas Técnicas para la seguridad de las presas y sus embalses (NT) recientemente publicadas provocan una reducción del nivel de seguridad exigido a las presas y los embalses respecto a los criterios hasta ahora utilizados, en un sentido opuesto al que parecen ir las demandas sociales que exigen cada vez una mayor seguridad.

A la conclusión anterior se llega evaluando los requisitos que las NT imponen en relación con la seguridad hidrológica, sin entrar en otros aspectos. Se analiza exclusivamente el contenido del punto 8 de la NT nº 2.

A grandes rasgos, el esquema del razonamiento es el siguiente:

- La seguridad hidrológica aparece en primer lugar en la NT relativa al proyecto, la construcción y primer llenado. Dedicada a ese tema la sección II (puntos 4 a 10).
- Trata de la seguridad hidrológica estableciendo los *“períodos de retorno a considerar para los niveles de las avenidas de proyecto y extrema (en años)”*.
- La nueva referencia a los *“niveles”* parece intentar enmendar el error conceptual de la versión de 2018 de las NT en la que los periodos de retorno se asignaban, no a los niveles alcanzados (variable unidimensional y, por tanto, susceptible de tener asociado un periodo de retorno) sino a las avenidas (variable multidimensional para la que la asignación de periodos de retorno es imposible ya que no puede ordenarse de mayor a menor).
- El problema radica en que esa corrección solo se refleja en los encabezamientos de la tabla I del punto 8, lo que da lugar a importantes desajustes.
- El más importante de ellos es que, pese a cambiar los encabezamientos, se mantienen los valores de la tabla. Por ejemplo, para las presas de categoría A se exige un periodo de retorno de 1.000 años, pero en la versión 2018 se refería a la *“avenida de proyecto”* y en la de 2021 lo hace al *“nivel avenida de proyecto”*.
- Mantener los valores modificando el concepto al que aplican es casi garantía de un exceso o de un defecto de seguridad. En este caso es una reducción de seguridad.

En lo que sigue se justifica la última afirmación anterior.

- Ya en la Instrucción de 1967 se hablaba de periodos de retorno (entonces, de recurrencia), si bien aplicados a los caudales máximos de las avenidas (artículos 14.6 y 14.7). Las avenidas se caracterizaban exclusivamente por su caudal punta y, por tanto (es una variable unidimensional) el concepto de periodo de retorno es aplicable. Exigía considerar como *“avenida máxima”* la asociada a un periodo de recurrencia de 500 años.
- Literalmente, la Instrucción dice:

“14.6. Se procurará establecer una función entre caudales máximos anuales y periodos de recurrencia, a la cual habrá de llegarse por extrapolación estadística del régimen del río observado directamente, o por deducción mediante la aplicación de coeficientes adecuados a la superficie de la cuenca receptora, íntimamente unidos a sus características altimétricas, climatológicas, geológicas, fisiográficas, etc. Cuando

ambos procedimientos sean posibles, los resultados habrán de cotejarse. En todo caso es obligada una ponderación meticulosa de los resultados finales, habida cuenta de la debilidad de los métodos a nuestro alcance.

14.7. A efectos de la capacidad del sistema de desagüe (artículo 18) se denominará «avenida máxima» aquella cuyo periodo de recurrencia sea, de quinientos años...”

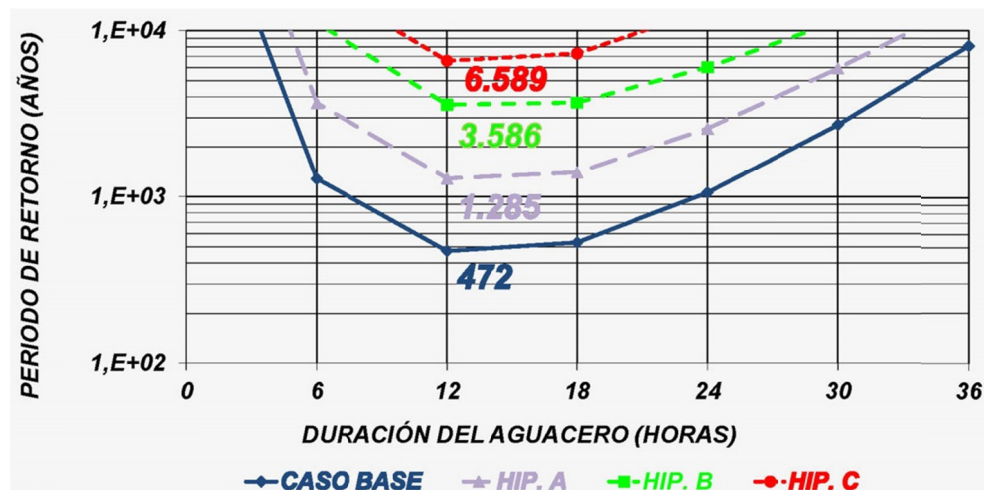
- Es importante remarcar la referencia que hace el texto a *“la debilidad de los métodos a nuestro alcance”*. Estamos hablando de 1967.
- La *“avenida máxima”* de la que habla la Instrucción se corresponde con la *“avenida de proyecto”* a la que se refiere la NT. Pueden compararse los artículos 18 de la Instrucción y 5.2 de la NT.
- La introducción al método hidrometeorológico se corresponde con la segunda opción del artículo 14.6 de la Instrucción: *“por deducción mediante la aplicación de coeficientes adecuados a la superficie de la cuenca receptora, íntimamente unidos a sus características...”*. Ese texto ha sido interpretado (y la administración, a través del Servicio de Vigilancia de Presas, ha exigido que se interpretase) como que el punto de partida de la *“deducción”* no podía ser otro que la precipitación (que, dados los registros entonces existentes, solo podía ser entonces la precipitación diaria), para la que se establecía una relación con los periodos de recurrencia, se seleccionaba el periodo de recurrencia de 500 años y, a partir de esa precipitación se llegaba al caudal punta con el mismo periodo de recurrencia.
- Esta interpretación ha sido mantenida hasta hoy con algunas salvedades. Por ejemplo, hace unos años el criterio empezó a decaer mediante la utilización espuria de los llamados resguardos estacionales.
- Incluso la llamada *“Guía Técnica de Seguridad de Presas. Avenida de Proyecto”* (1997), cuando describe el método hidrometeorológico, el análisis estadístico y, por tanto, la atribución de periodos de retorno, lo plantea para las precipitaciones máximas diarias, a las que luego somete a un proceso para llegar al hidrograma de las avenidas.
- En este ambiente, cuando los técnicos han hecho uso del método hidrometeorológico (algo muy generalizado), han venido aplicando las exigencias normativas según el esquema siguiente, perfectamente razonable:
 - Análisis estadístico de las precipitaciones diarias, paso a las precipitaciones en 24 horas y establecimiento de la asociada a un periodo de retorno de 500 años.
 - Análisis de las precipitaciones de distintas duraciones. Pese a la incoherencia que eso representa, a todas y cada una de las duraciones se le atribuye, de manera conservadora, el mismo periodo de retorno (500 años).
 - Conversión de esa precipitación en hidrograma por aplicación de metodologías, siempre conservadoras y para distintas duraciones del aguacero (habitualmente se analizaban tres, centrados en el tiempo de concentración de la cuenca), para el hietograma, la simultaneidad entre estaciones pluviométricas, la situación de humedad de la cuenca...
 - Atribución del periodo de retorno de 500 años al pésimo de los hidrogramas así obtenidos, considerando como pésimo a aquel que obligaba a una mayor capacidad de desagüe del aliviadero.

- Simplificando aún más, el procedimiento que se ha venido aplicando en los últimos 50 años sigue el esquema:

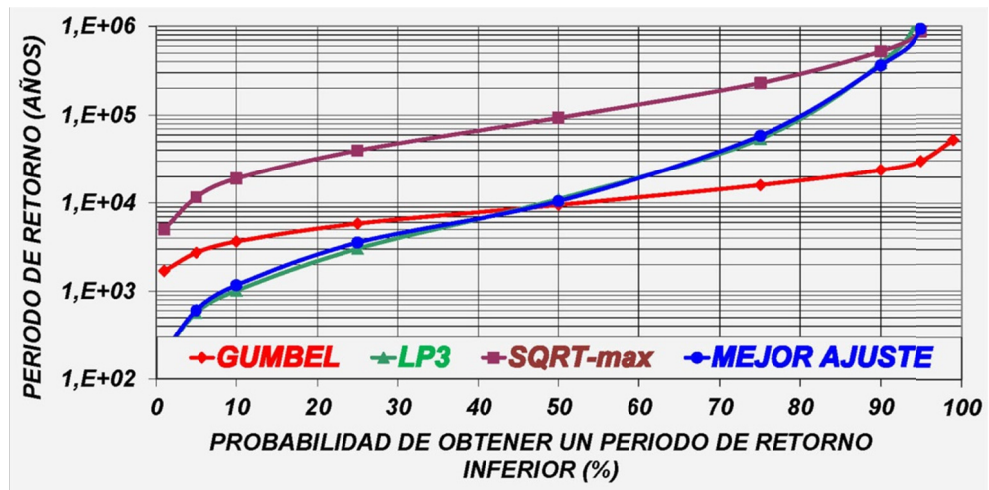
$$P_{\text{diaria}/500\text{años}} \rightarrow P_{24\text{h}/500\text{años}} \rightarrow P_{\text{di}/500\text{años}} \rightarrow Q(t)_{\text{di}/500\text{años}} \rightarrow Q(t)_{\text{dpésima}/500\text{años}} \rightarrow \text{NME}_{500\text{años}}$$

- Se inicia con la precipitación diaria máxima anual cuya probabilidad de ser superada es 1/500 ($P_{\text{diaria}/500\text{años}}$), que se transforma en la precipitación equivalente en 24 horas no calendario ($P_{24\text{h}/500\text{años}}$). De esta se deducen las precipitaciones que corresponden a distintas duraciones del aguacero y se las asigna la misma probabilidad que aquella ($P_{\text{di}/500\text{años}}$). Cada uno de esos aguaceros se transforma en el hidrograma correspondiente, al que se atribuye el mismo periodo de retorno ($Q(t)_{\text{di}/500\text{años}}$). A continuación, de entre los hidrogramas anteriores se selecciona el pésimo ($Q(t)_{\text{dpésima}/500\text{años}}$), considerando como tal a aquel que conduce a una mayor capacidad del aliviadero. Finalmente, a partir del hidrograma seleccionado, considerando el embalse en su máximo nivel normal y, caso de aliviadero controlado por compuertas, utilizando criterios conservadores de gestión de la avenida, se deriva el “*máximo nivel de embalse en crecidas*”, que no tiene asignado, explícitamente, ningún periodo de retorno.
- Este proceso se caracteriza por dos realidades que se compensan. Por una parte, el periodo de retorno adoptado (500 años) es muy bajo y, por otra, incluye un buen número de supuestos conservadores, de factores indirectos de seguridad, añadidos.
- Que el periodo de retorno es bajo es evidente. Basta considerar que considerar que las presas son grandes estructuras cuyo fallo puede dar a lugar a grandes catástrofes y, por tanto, nadie diseñaría una estructura de ese tipo que tuviese una probabilidad de fallar del 10% (una probabilidad anual de 1/500 para una vida supuesta de 50 años, sea vida útil o simple existencia conduce a esa probabilidad de fallo).
- La existencia de los factores indirectos de seguridad es patente, empezando por la selección de la duración pésima del aguacero (equivale a aceptar que la probabilidad de esa duración pésima es la unidad) siguiendo por la aceptación de hipótesis conservadoras para todos los parámetros utilizados en la transformación precipitación-escorrentía (hietograma, estado de la cuenca, simultaneidad del aguacero...) y acabando por hipótesis conservadoras en el nivel inicial del embalse y en la forma de gestión de la avenida (criterio de sueltas, no consideración de los embalses agua arriba ni de previsión de avenidas...).
- Que ambos aspectos, globalmente, se compensan lo pone de manifiesto la realidad de las presas existentes: con un parque más de 1.000 presas, la gran mayor parte de los cuales han sido diseñados según el esquema analizado, el resultado real es que no es elevado el número de años en que alguna presa se supera el llamado “*máximo nivel de embalse en crecidas*”.
- La propia NT parece reconocerlo por omisión: en el RD por el que las aprueba no se cita en ningún momento la necesidad de incrementar la seguridad de presas y embalses.
- Si la situación es “*razonable*”, ¿por qué cambiar la normativa?
- Ocurre que la situación solo es razonable cuando hablamos del parque de presas en su conjunto.

- Resulta que la seguridad hidrológica de una presa concreta depende en gran medida de los factores indirectos a los que nos venimos refiriendo y que se han aplicado a esa presa concreta.
- Que el hidrograma que asociamos al periodo de retorno de 500 años puede corresponder realmente a un periodo de retorno uno o dos órdenes de magnitud superiores y quizá más. En la figura se refleja el resultado de un divertimiento teórico en el que se comparan los periodos de retorno que resultarían en distintos supuestos de duración del aguacero y de características del embalse y de su forma de gestión.. Todos los casos respetan la ubicación de la presa y las características de su cuenca vertiente.



- Que esos factores indirectos de seguridad no son ni conocidos ni, por supuesto, homogéneos, además de discrecionales o aleatorios.
- Que, adicionalmente, existe un problema asociada a la tremenda extrapolación necesaria para obtener los valores asociados a periodos de retorno muy altos, máxime si no es posible establecer la función de distribución que siguen las precipitaciones diarias máximas anuales. Que la variabilidad de la estimación de la $P_{24h/500años}$ es tremenda.
- Simplemente para centrar el orden de magnitud de esa variabilidad podemos realizar un ejercicio teórico de simulación. Suponiendo que la distribución estadística de la población es la Gumbel de valores extremos, si se selecciona como distribución de ajuste aquella que con un mejor ajuste aparente a los datos, si disponemos de una serie de 100 datos y buscamos el valor correspondiente a un periodo de retorno de 10.000 años, el valor medio de las estimaciones es efectivamente muy próximo a los 10.000 años pero en un 10% de los casos es menor que tan solo 1.200 años mientras que en otro 10% es superior a 300.000. Aquí hay otro orden de magnitud.



- Que esto incrementa la seguridad en unas presas y la reduce en otras, sin que podamos discernir en qué caso se encuentra una presa determinada
- Que, por tanto, desconocemos la seguridad hidrológica real de una presa concreta hasta extremos intolerables.
- Si la situación no es razonable, la pregunta lógica es ¿cómo debemos cambiarla?
 - No entramos en grandes disquisiciones, ya que el presente texto pretende ser un análisis crítico de la NT, no el desarrollo de una alternativa completa a lo previsto en ella.
 - Si el principal problema radica en la incertidumbre de las estimaciones y en la falta de homogeneidad de los factores indirectos, parece razonable intentar reducir el peso que tienen en el proceso las extrapolaciones y los factores indirectos.
 - Si no queremos que, como consecuencia de ello, las exigencias relativas a la seguridad hidrológica se reduzcan, simultáneamente debiéramos incrementar el periodo de retorno (en al menos un par de órdenes de magnitud) e introducir un factor de seguridad directo para hacer frente a la incertidumbre (escalando el hidrograma obtenido o considerando la distribución estadística de los errores en la estimación, por ejemplo).
 - La reducción del peso de los factores indirectos de seguridad hoy es posible, ya que, desde la publicación de la Instrucción (1967), la técnica hidrológica ha avanzado mucho. También han crecido infinitamente nuestra capacidad numérica y los datos de los que disponemos.
 - Realmente, antes de publicar las NT se podría haber estudiado en profundidad la situación global del parque español de presas en relación con la seguridad hidrológica aprovechando el decenio empleado para su redacción. Sería un buen trabajo de base para fijar los requisitos a cumplir, pero los redactores de las NT no lo han considerado conveniente y eso pese a disponer de decenas de miles de “presas.año” de historia. Hubiera servido para, al menos, tener una referencia real en el caso español.
- En esta situación, la NT reduce (incluso anula) los factores indirectos de seguridad y eleva el periodo de retorno exigido para la avenida de proyecto (la que sirve para el dimensionado de los órganos de desagüe) de 500 a solo 1.000 años. Parece algo solo simbólico.

- Introduce también el concepto nuevo (realmente ya aparecía en el Reglamento Técnico de 1995) de “*avenida extrema*”, para la que establece un periodo de retorno mínimo de 5.000/10.000 años. Es la que permite establecer el resguardo a coronación exigido.
- Este concepto no estaba en la Instrucción, que fijaba el resguardo a coronación en función de las olas de viento y sísmica. Por ello, no es posible la comparación directa en este tema entre Instrucción y NT.
- Recopilando, la (casi) anulación de los factores indirectos de seguridad se introduce de una manera que parece casi vergonzante, reflejándose solo en la Tabla I del Artículo 8 de la 2ª NT.
 - Esa Tabla es en la que se establecen los periodos de retorno a considerar para las avenidas de proyecto y extrema.
 - En el borrador de NT de julio de 2018, el título de la tabla se refería a los “*periodos de retorno a considerar para las avenidas*”.
 - Ya se ha señalado en muchas ocasiones que hablar de periodos de retorno de las avenidas es un error conceptual, ya que, al no ser las avenidas variables unidimensionales no pueden ser ordenadas de menor a mayor y no puede considerarse una avenida mayor que otra (una con mayor caudal punta frente a otra de mayor duración, por ejemplo).
 - Marginalmente señalamos que este error también aparece en la “*Guía Técnica de Seguridad de Presas. Avenida de Proyecto*” (1997).
 - Quizá para salvar ese error, la versión aprobada cambia el título de la tabla, introduciendo simplemente la palabra “*niveles*”: “*Periodos de retorno a considerar para los niveles de las avenidas*”.
 - El cambio, que pudiera parecer nimio, realmente es trascendente. El análisis estadístico y, por tanto, la definición de los periodos de retorno de acuerdo con la Instrucción y con la práctica técnica que se ha venido utilizando este último medio siglo se ha situado en el inicio del proceso de cálculo (en $P_{24h/500años}$), mientras que ahora la NT lo lleva al final (a $NME_{500años}$), saltándose el proceso de transformación precipitación-escorrentía. La variabilidad estadística de la estimación ni la cita.
- A partir de aquí, hoy se vislumbran dos posibilidades extremas de cálculo apoyadas en las NT.
 - Una podría ser seguir partiendo de la distribución estadística de las precipitaciones diarias máximas anuales, seleccionar la correspondiente al periodo de retorno exigido y desarrollar todo el proceso de transformación precipitación-escorrentía-nivel de embalse adoptando valores medios para todos los parámetros que intervienen en los procesos. Esto, aunque presenta el problema, no pequeño, de la no linealidad de los procesos, sería viable.
 - La alternativa sería el recurso a la simulación de un gran número de avenidas (método Montecarlo) y llegar con ellas hasta la determinación del nivel de embalse alcanzado. Sería necesario establecer distribuciones estadísticas tanto de la precipitación diaria máxima anual como del resto de parámetros que influyen en el proceso (duración del aguacero, hietograma, situación de humedad de la cuenca, simultaneidad...). Se seleccionaría el nivel que solo es superado en $1/Tr$ de los casos generados.

- En ambos métodos, los factores indirectos de seguridad desaparecen. En un caso porque, en lugar de aplicar criterios conservadores, la NT obliga a utilizar criterios “*medios*” y en el otro porque el análisis se hace al final, partiendo de las distribuciones estadísticas de los parámetros.
- Ciertamente podrían recuperarse esos factores indirectos con referencias a las metodologías a utilizar y a los criterios para la asignación de parámetros, pero esto no lo hacen las NT.
- Es necesario insistir. No hay referencia alguna a la variabilidad estadística de las distribuciones
- En resumen, un cambio sutil pero de consecuencias tremendas.

Resumiendo, como decíamos al principio, las NT recientemente aprobadas, además de contener otros errores e incoherencias graves, implica una importante rebaja en las condiciones de seguridad de las presas y sus embalses, tanto de las hoy en explotación como las que pudieran ser construidas en el futuro.

Y todo lo anterior sin haber entrado siquiera en otras cuestiones trascendentes relativas a la seguridad hidrológica como pueden ser:

- Lo relativo a la necesidad de estacionariedad de las distribuciones estadísticas que exigen las grandes extrapolaciones y los efectos del cambio climático. No es que no sepamos si el proceso hidrometeorológico es estacionario o no. Hoy sabemos que no lo es.
- La dependencia del nivel alcanzado por el agua en avenidas de la explotación del embalse (demandas, por ejemplo) y de la forma de gestión de las avenidas en el caso de aliviaderos controlados por compuertas.
- Lo anterior implica que la NT de explotación debiera ser tenida en cuenta en lo que se establece en la NT de proyecto y no al contrario, como se hace en las NT publicadas.

Mariano de Andrés

Junio de 2021