

# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

## LAMINACIÓN DE AVENIDAS EN LAS PRESAS DEL GUADALHORCE

Ricardo Ruiz Antúnez<sup>1</sup> y Luis Morales Calvo<sup>2</sup>

*Las Presas del Guadalhorce constituyen un sistema aislado que regula aproximadamente la mitad de la cuenca del río Guadalhorce en la provincia de Málaga. La otra mitad carece prácticamente de regulación y sus cauces tienen una capacidad limitada por las fuertes presiones agrícolas y urbanísticas a las que están sometidos.*

*Las decisiones que puedan tomarse a la hora de laminar una avenida, en las circunstancias esbozadas, pueden tener graves repercusiones económicas e incluso de otro tipo, por lo que deben apoyarse en razones sólidamente fundamentadas. Esta consideración llevó a la dirección de explotación de las presas a elaborar, conjuntamente con las Normas de Explotación, un programa de laminación de avenidas basado en detallados estudios y en un concepto novedoso, el de caudal óptimo de laminación (Q.O.L.) para una avenida de hidrograma conocido.*

*El Programa, que se ha demostrado muy útil en el tiempo que viene aplicándose, sigue vigente y lo único que se pretende es mejorar su operatividad*

---

<sup>1</sup> Ricardo Ruiz Antúnez es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos y trabaja como Director de Explotación del Sistema Guadalhorce - Limonero, en la Dirección Provincial de la Agencia Andaluza del Agua en Málaga, Organismo Autónomo adscrito a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

<sup>2</sup> Luis Morales Calvo es Ingeniero Técnico de Obras Públicas y trabaja como Asesor Técnico en la Explotación del Sistema Guadalhorce - Limonero, en la Dirección Provincial de la Agencia Andaluza del Agua en Málaga, Organismo Autónomo adscrito a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Su trabajo consiste en la Jefatura de Explotación de las Presas de Guadalhorce, Guadalteba y Conde del Guadalhorce, adscritas al Sistema de Explotación.

*mediante una sencilla aplicación informática que permite en pocos minutos obtener los Q.O.L. para cuantas hipótesis quieran plantearse combinando hidrograma de la avenida previsible, hora de inicio de los desembalses, nivel del embalse que no se desea superar, etc.*

## **1. ANTECEDENTES Y OBJETO.**

En las VII Jornadas Españolas de Presas, celebradas en Zaragoza en mayo de 2002, la dirección de explotación de Las Presas del Guadalhorce, junto con la Ingeniería que había colaborado en la redacción de las Normas de Explotación, redactó una comunicación en la que se presentaba el Plan de laminación de avenidas contenido en ellas. Esta comunicación hace una amplia exposición de las características de Las Presas del Guadalhorce, de sus condicionantes de explotación, de la problemática derivada de la laminación de avenidas y de los estudios previos que se habían realizado para la redacción del Plan de laminación y para conocer la entidad de los daños que produciría aguas abajo la circulación por el cauce de caudales de distinta magnitud.

El Plan de laminación vigente continúa apoyándose en los mismos conceptos que el primitivo y lo único que se ha modificado es el sistema operativo de evaluación del resguardo disponible respecto a la entidad de la avenida previsible.

Es objeto de esta comunicación presentar una sencilla aplicación informática que ha desarrollado recientemente la dirección de explotación de Las Presas del Guadalhorce para simplificar y agilizar la toma de decisiones al permitir en pocos minutos determinar los caudales óptimos de laminación para avenidas de distinto periodo de retorno y distintos momentos de inicio de los vertidos de agua.

## **2. RESUMEN DE CONDICIONANTES.**

La exposición completa de antecedentes y condicionantes puede obtenerse de la comunicación T51 "Laminación de avenidas en las Presas del Guadalhorce" que se recoge entre las páginas 13 y 27 del volumen III del libro resumen de las Jornadas citadas.

Se exponen aquí los aspectos más relevantes:

### **2.1. LAS PRESAS DEL GUADALHORCE.**

Son un conjunto de explotación aislado, situado en el centro de la provincia de Málaga, formado por la presa Conde de Guadalhorce, sobre el río Turón, y la presa de Guadalhorce-Guadalteba, sobre los ríos del mismo nombre. Crean embalses de 66 y 279 hm<sup>3</sup>, respectivamente.

Regulan la mitad alta de la cuenca del río Guadalhorce (1.700 km<sup>2</sup>) con los objetivos prioritarios de abastecer Málaga y de regar unas 11.000 has. En la cuenca inferior solo está regulado el río Campanillas (184 km<sup>2</sup>), quedando casi 1.300 km<sup>2</sup> sin regulación.

Ambas presas disponen de aliviaderos móviles, con capacidades respectivas de 600 y 2.120 m<sup>3</sup>/s., con embalses en el N.A.P. Los desagües de fondo tienen capacidad para 24 y 168 m<sup>3</sup>/s. y en el caso de Conde de Guadalhorce existe una toma para central hidroeléctrica de 13 m<sup>3</sup>/s.

## 2.2. EL CAUCE AGUAS ABAJO.

En el cauce medio, la presión agrícola y urbanística ha limitado su capacidad de desagüe de forma que el caudal de daños se sitúa actualmente en 300 m<sup>3</sup>/s.

En la zona costera, la más conflictiva al ser la más poblada y estar aguas abajo de la incorporación de los ríos Grande y Campanillas, la situación se ha aliviado tras las obras de encauzamiento que se han llevado a cabo en los últimos cuatro kilómetros.

## 2.3. AVENIDAS.

Las avenidas del río Guadalhorce las generan, normalmente, frentes del suroeste que provocan aguaceros aislados de gran intensidad y duración inferior a 24 horas.

La cuenca media y en especial la del Río Grande, genera avenidas de rápida transmisión y alto caudal punta que han sido las responsables de las inundaciones que se han producido en los últimos años en áreas cercanas a la desembocadura (polígonos industriales, urbanización Guadalmar, etc.) y que, como se ha dicho, intentan evitar las obras de encauzamiento realizadas.

## 2.4. RESGUARDOS.

Los estudios de laminación realizados han revelado que la presa de Guadalhorce – Guadalteba dispone de un amplio resguardo y de suficiente capacidad de sus órganos de desagüe, incluso para cumplir las exigencias del R.T.S.P.E. en lo referente a la Avenida extrema.

No ocurre lo mismo con la presa Conde de Guadalhorce en la que la escasa capacidad de sus órganos de desagüe haría que desbordasen por coronación las avenidas de periodo de recurrencia superior a 500 años si se mantuviese el N.M.N.

Para cumplir la normativa vigente, no hay más respuesta, en tanto se procede a la remodelación planteada de su capacidad de desagüe, que fijar NN.MM.NN. estacionales que limitan de hecho el volumen útil del embalse a la mitad, aproximadamente. En estas circunstancias la capacidad de maniobra ante una avenida es limitada y exige actuaciones rápidas y decididas.

## 3. PLAN DE LAMINACIÓN.

En el pasado, se carecía de la información necesaria para tomar decisiones fundamentadas a la hora de laminar una avenida, tanto en cuanto a su magnitud previsible, como a lo que había ocurrido o estaba ocurriendo

(precipitaciones en la cuenca, caudales circulantes, etc.), ya que las situaciones de avenidas solían estar asociadas a incomunicación, como de las consecuencias reales que se derivarían del vertido de determinados caudales.

La inseguridad provocada por estas carencias, hizo que el equipo redactor de las Normas de Explotación se plantease desde el principio acabar con ellas. Para ello se llevaron a cabo los siguientes trabajos:

### 3.1. ESTUDIO DE AVENIDAS.

Se perseguían con él tres objetivos:

#### *3.1.1. Hidrogramas.*

Se determinaron los hidrogramas de las avenidas previsibles para cada mes del año y periodos de recurrencia de 10 a 1.000 años. Con posterioridad se amplió el estudio a las avenidas de 5.000 y 10.000 años para cumplir las exigencias del R.T.S.P.E.

#### *3.1.2. Tiempos de desplazamiento.*

Se dibujaron mapas de isocronas de toda la cuenca con origen en las presas y en la confluencia del río Campanillas con el Guadalhorce.

#### *3.1.3. Mapas de inundación.*

Se determinaron los caudales de desbordamiento del cauce, entre La Encantada y el encauzamiento de la desembocadura, y se dibujaron las planas de inundación para caudales circulantes de 500, 1.500 y 3.000 m<sup>3</sup>/s., haciendo un inventario de daños en cada caso.

### 3.2. ESTUDIO DE LAMINACIÓN.

Con las herramientas proporcionadas por los estudios anteriormente enumerados, se diseñó un programa de laminación de avenidas que se apoyaba en el concepto de caudal óptimo de laminación (Q.O.L.), es decir, en el mínimo caudal continuo posible que permitiría gestionar una avenida de hidrograma conocido, sin sobrepasar un nivel predeterminado del embalse (N.A.P. u otro cualquiera), iniciando los vertidos a una hora **H<sub>0</sub>**.

Se confeccionaron unos cuadros que, en función del grado de saturación de la cuenca y de la magnitud del aguacero registrado, establecían el periodo de recurrencia y, consecuentemente, el hidrograma de la avenida previsible.

La información obtenida de la laminación óptima del conjunto de hidrogramas generado en el estudio de avenidas, se utilizaba para apoyar la toma de decisiones en cada momento, entendiendo que, dado el cúmulo de circunstancias que podía darse en el proceso de laminación, no podían establecerse normas rígidas sino que, respetando unos criterios básicos de prioridades, las decisiones deberían tomarse en cada momento utilizando el máximo posible de información.

Para contemplar la posibilidad de que la gestión de la avenida tuviera que realizarse en circunstancias excepcionales sin la presencia de la dirección de la explotación, se presentaban unos cuadros de doble entrada en los que, en función del nivel del embalse al iniciarse la avenida, del nivel actual y de la velocidad de incremento de este nivel en la última hora, se obtienen los caudales a desembalsar.

Este plan se ha aplicado en las avenidas de marzo de 2004, tanto para su laminación real como para el supuesto de que se hubiesen producido con los embalses cerca de su N.M.N., con excelentes resultados tanto en cuanto a su evaluación previa en función de la lluvia registrada en la cuenca, como a la determinación de caudales a desembalsar.

El plan continúa pues plenamente vigente y lo único que se ha hecho es dotarlo de una herramienta informática, de sencillo manejo, que facilitará en todo momento la evaluación del resguardo disponible frente a la magnitud del evento previsible y ayudará en la toma de decisiones fundamentadas.

## **4. APLICACIÓN.**

La aplicación se ha desarrollado utilizando el programa AUTOCAD.

### **4.1. CURVAS DE VOLUMENES ACUMULADOS.**

De los hidrogramas proporcionados por el estudio de avenidas se han obtenido las curvas de volúmenes acumulados (C.V.A.) en 24 horas y se han agrupado por vasos y por meses. Cada conjunto de CVA de periodos de retorno de 10, 25, 50, 100, 500, 1.000, 5.000 y 10.000 años, se ha convertido en un bloque para facilitar su manejo.

Existen conjuntos de C.V.A. para avenidas en Conde de Guadalhorce, avenida aislada en Guadalteba, id. en Guadalhorce, avenida conjunta en Guadalhorce – Guadalteba y avenida conjunta en los tres vasos.

### **4.2. PLANTILLAS.**

Se ha diseñado una plantilla para Conde de Guadalhorce y otra para Guadalhorce – Guadalteba. Esta última es única independientemente de que se considere la hipótesis de avenida aislada o conjunta, ya que, al estar comunicados ambos vasos a partir de la cota 361, el resguardo utilizable será la suma del disponible en ambos vasos.

La plantilla representa el tiempo en abcisas, dividido en horas, y volúmenes de embalse en ordenadas. Se destacan los volúmenes correspondientes a niveles singulares del vaso, NN.MM.NN. estacionales, N.A.P., comunicación entre vasos y coronación de la presa.

En el borde derecho de la plantilla y en parte del borde superior, se ha creado una escala de caudales, de forma que la pendiente de una recta situada en el origen de coordenadas y prolongada hasta los bordes, representa el caudal que se lee en la escala.

### 4.3. PROCEDIMIENTO OPERATIVO.

Ante una precipitación importante que haga prever la entrada de caudales excepcionales a alguno o a todos los vasos, se actuará de la siguiente forma:

#### *4.3.1. Evaluación previa.*

En función del estado de saturación previsible en la cuenca, según la época del año y el régimen de precipitaciones registrado hasta el momento, se seleccionará un mes determinado y, con los datos de precipitación registrada en los pluviómetros de las presas y, a ser posible, en otros pluviómetros de la cuenca, se obtendrá de los cuadros correspondientes una primera estimación de la gama de avenidas en la que debe encontrarse la que se está produciendo.

#### *4.3.2. Nivel inicial del embalse.*

Sobre la plantilla correspondiente al vaso sobre el que se va a actuar (Conde de Guadalhorce prioritariamente en caso de avenida conjunta), se situará el **NIVEL INICIAL** del embalse que corresponderá al volumen de agua embalsada en el momento considerado ( $H_0$ ). Sobre este nivel y en esta hora, se pinchará el bloque de C.V.A. correspondiente al mes que se haya seleccionado.

Si, por la causa que fuese, se hubiese retrasado el momento de tomar decisiones y se dispusiera ya de un tramo de la C.V.A. de la avenida real, la situación del bloque de CC.VV.AA. se hará encajando este tramo en la C.V.A. de la avenida seleccionada como más probable en la fase **4.3.1.**

#### *4.3.3. Determinación de caudales óptimos de laminación (Q.O.L).*

En esta situación, pueden obtenerse de forma inmediata los Q.O.L. correspondientes a cualquiera de las avenidas seleccionadas como probables, iniciando los vertidos en una hora predeterminada ( $H_n$ ) y sin sobrepasar un nivel de embalse prefijado (**N.A.**): Desde la abscisa  $H_n$  se levanta una línea hasta interceptar N.A. Desde este punto de intersección, se traza una tangente a la C.V.A. que se haya seleccionado y la pendiente de esta línea representará el Q.O.L. de esta avenida en las condiciones previas impuestas. Su valor numérico puede obtenerse trasladando esta línea hasta el origen de coordenadas y prolongándola hasta interceptar la escala de caudales del borde de la plantilla.

La facilidad del proceso permite plantear cuantas hipótesis se quiera variando  $H_n$ , **N.A.**, el periodo de retorno a considerar, etc., etc., obteniendo información para seleccionar la decisión más lógica.

#### *4.3.4. Reiteración del proceso.*

El proceso puede repetirse cada dos o incluso cada hora, dada su facilidad. Cada vez se dispondrá de un tramo más amplio de la C.V.A. de la avenida real, por lo que el ajuste de posición del bloque de CC.VV.AA. supuestas será cada vez más preciso. Situado este bloque en la posición correspondiente a la hora  $H_n$ , se repetirá la obtención de QQ.OO.LL. y se modificará el régimen de desembalse, de considerarse necesario.

Desde el punto de vista operativo, se han preparado hojas de cálculo que permiten obtener rápidamente los volúmenes desembalsados por los distintos órganos de la presa y su valor a origen, las variaciones de volúmenes

embalsados y, consecuentemente, la C.V.A de la avenida real que se está produciendo.

En las reiteraciones del proceso, es recomendable trabajar sobre una copia creada de la situación anterior, dejando constancia de cada situación considerada y de las razones que han llevado a tomar cada decisión.

## 5. CUADROS SIMPLIFICADOS.

Exclusivamente para prever el caso de que en el momento de producirse una avenida no haya en la presa nadie capacitado para manejar la aplicación informática, se mantienen vigentes los cuadros simplificados que se elaboraron conjuntamente con el programa primitivo de laminación de avenidas. De estos cuadros se obtiene el caudal a desembalsar entrando con los siguientes datos:

- Intervalo de cotas en las que se encontraba el embalse al iniciarse la avenida.
- Intervalo de cotas en las que se encuentra el embalse en la hora considerada  $H_n$ .
- Incremento del nivel del embalse en la última hora (cm/hora).

Se considera que la nueva aplicación puede mejorar considerablemente los cuadros actuales y se está trabajando en un programa que permita su ajuste en función de los criterios generales que se establezcan en cada situación.

## ANEJOS:

Del Plan de laminación de avenidas en Conde de Guadalhorce, se presentan los siguientes:

- Evaluación previa: Cuadro que establece el periodo de retorno de la avenida previsible en función de la magnitud del aguacero registrado.
- Plantilla y Conjunto de Curvas de Volumen Acumulado de las avenidas previsibles en los distintos meses del año para periodos de recurrencia entre 10 y 10.000 años.
- Determinación de Caudales Óptimos de Laminación sobre la plantilla, en octubre, con inicio de los desembalses ( $H_n$ ) a la hora 4 y nivel inicial del embalse cercano al correspondiente N.M.N. estacional, en los siguientes casos:
  - Avenida extrema, permitiendo que el embalse alcance el N.A.E.(343,80)
  - Avenidas de P. R. 500 y 1.000 años, permitiendo que el embalse alcance el N.M.E. actual (342,90)
  - Puede comprobarse que el resto de las avenidas consideradas cabría en el resguardo.

**ANEXO I: EVALUACIÓN PREVIA**  
**SIMULACIÓN DE AVENIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO TURÓN HASTA EL**  
**EMBALSE DE CONDE DE GUADALHORCE.**  
**PRECIPITACIÓN (mm.)**

MES	T10		T25		T50		T100	
	D (horas)	PREC. (mm.)	D (horas)	PREC. (mm.)	D (horas)	PREC. (mm.)	D (horas)	PREC. (mm.)
Octubre	24	111	24	143	24	166	24	194
Noviembre	24	111	18	127	18	147	15	160
Diciembre	18	94	18	120	18	140	15	154
Enero	21	100	18	120	18	140	15	154
Febrero	21	100	18	120	18	140	15	154
Marzo	24	76	24	97	24	113	21	124
Abril	24	76	24	97	24	113	21	124
Mayo	24	76	24	97	24	113	24	132
Junio	24	61	24	78	24	91	24	106
Julio	24	61	24	78	24	91	24	106
Agosto	24	61	24	78	24	91	24	106
Septiembre	24	111	24	143	24	166	24	194

MES	T500		T1000		T5000		T10000	
	D (horas)	PREC. (mm.)	D (horas)	PREC. (mm.)	D (horas)	PREC. (mm.)	D (horas)	PREC. (mm.)
Octubre	18	237	15	252	12	321	12	362
Noviembre	12	206	12	235	12	321	12	362
Diciembre	12	210	12	239	12	327	12	368
Enero	12	210	12	239	12	327	12	368
Febrero	12	210	12	239	12	327	12	368
Marzo	18	161	15	171	12	219	12	246
Abril	18	161	15	171	12	219	12	246
Mayo	21	171	18	173	15	234	12	246
Junio	24	147	24	167	24	229	21	243
Julio	24	147	24	167	24	229	24	257
Agosto	24	147	24	167	24	229	24	257
Septiembre	24	267	21	286	15	345	12	362





## ANEXO II: Determinación de Caudales Óptimos de Laminación

