

MODELO MATEMATICO DE LA REGULACION DE UN RIO

Ing. C. C. P. J. DOMINGUEZ

INTRODUCCION

Es muy frecuente, a la hora de abordar el estudio hidrológico de un aprovechamiento hidráulico, limitarse a hacer un análisis exhaustivo de lo que hubiera sucedido en el, desde el año en que se haya podido determinar las aportaciones del río. Si de estos análisis hay que determinar la capacidad óptima del embalse, habrá que repetir varias veces el proceso con distintas capacidades del mismo.

Los inconvenientes de este método son dos: el primero de ellos lo conoce cualquiera que lo haya empleado: una interminable suma para hallar la media, restas para hallar las desviaciones, nuevas sumas para formar la serie de las acumuladas con la sorpresa de que al final no cierran, repetición, representación sobre una larga tira de papel milimetrado que, generalmente, no cabe en la mesa; el tiempo que se tarda, etc. etc. El segundo inconveniente, con la cabeza aturdida del ruido de las máquinas sumadoras, se suele pasar por alto: se ha estudiado, perfectamente quizá, unos años correspondientes al pasado que formaban una serie, con frecuencia muy corta, y que normalmente no volverá a repetirse. Si el aprovechamiento se hubiese construido coincidiendo con el origen de la serie, habría funcionado con arreglo a la previsión hasta hoy. Pero ¿y de hoy en adelante?

El ordenador electrónico soluciona por completo el primer problema; en efecto, como veremos más tarde, el ordenador realiza todo el largo proceso que hemos relatado, sumas y restas tan solo, a tal velocidad que le permite estudiar series de cien años en unos minutos. De rechazo se solucionará el segundo inconveniente, puesto que con esta rapidez es fácil estudiar varias series con diferentes hipótesis de embalse cada una. Si bien se sigue sin información sobre cómo van a ser los años en los que se va a desarrollar la vida del embalse, el hecho de haber estudiado varias series permite tener idea de la dispersión de los resultados y adoptar, en consecuencia, algún margen de seguridad.

PROGRAMAS ESTUDIADOS.

Para este fin, EPTISA, en colaboración con CIBECESA, ha preparado los siguientes programas:

— Garantía de regulación.

— Aportaciones utilizadas y vertidas.

La primera parte es común a ambos; se trata de un sorteo, realizado electrónicamente, que se describe a continuación.

Seguidamente se expondrá por separado los dos programas.

Sorteo.

La finalidad consiste en elaborar, a partir de los años 1, 2, 3, ..., i , ..., n de los que se disponga o se haya determinado las aportaciones, una serie más extensa de N años.

El proceso realizado en el ordenador es muy simple. En la memoria se tiene los números 1 a n , en sucesión ininterrumpida; con ayuda de un control externo se obtiene un número de la serie y simultáneamente se perfora una ficha con las aportaciones de dicho año. Esto se repite N veces hasta formar una serie de N años. Un valor de N conveniente puede ser de 100, que coincide con lo que se suele tomar como vida útil de un aprovechamiento.

GARANTIA DE REGULACION.

Dado un río, caracterizado por los valores de sus aportaciones, un embalse definido por su capacidad útil, y una demanda, representada por una ley de desagüe anual, definiremos como garantía de regulación mensual el porcentaje de meses en que se puede desaguar el caudal deseado. La anual, el de años hidrológicos en que se satisface íntegramente la demanda.

Describiéndolo gráficamente, el proceso para hallar dichas garantías, consiste en introducir, entre dos curvas de aportaciones acumuladas del río, desplazadas entre sí una distancia igual a la capacidad de embalse disponible, una quebrada representativa del régimen del desagüe deseado (fig. 1.^a). En ella figuran curvas de desviaciones acumuladas por ser más cómodo para el tratamiento gráfico. Los datos de este ejemplo son: las aportaciones que han servido para dibujar la curva de desviaciones acumuladas, el volumen del embalse 80 Hm.³, y la ley de demandas, de octubre a marzo 35 Hm.³/mes y de abril a septiembre 45 Hm.³/mes.

Supóngase que el año anterior a los representados, año 27, se agotó la capacidad útil del embalse; la curva de desagüe se obtendría trazando por el origen una paralela a la de demanda. En el punto *a*, corta a la curva de desviaciones acumuladas inferior, lo que indica que el embalse se encuentra lleno, y se desaguará dando entrada por salida hasta el punto *b* tal, que a partir del mismo las necesidades superen a las aportaciones. El segmento \overline{bc} representará el volumen de agua desperdiciada. A partir del punto *b*, seguimos la ley de demanda hasta que en *d* se corta a la curva superior de aportaciones acumuladas; el embalse habrá agotado su capa-

1. Aportaciones mensuales A_i agrupados por años hidrológicos (Hm^3).
2. Capacidad de embalse E (Hm^3).
3. Caudal regulado durante el primer período AR_1 (Hm^3/mes).
4. Caudal regulado durante el segundo período AR_2 (Hm^3/mes).
5. Número de meses del primer período N_1 .

Pueden hacerse todos los tanteos que se deseen modificando la capacidad de embalse y los caudales regulados.

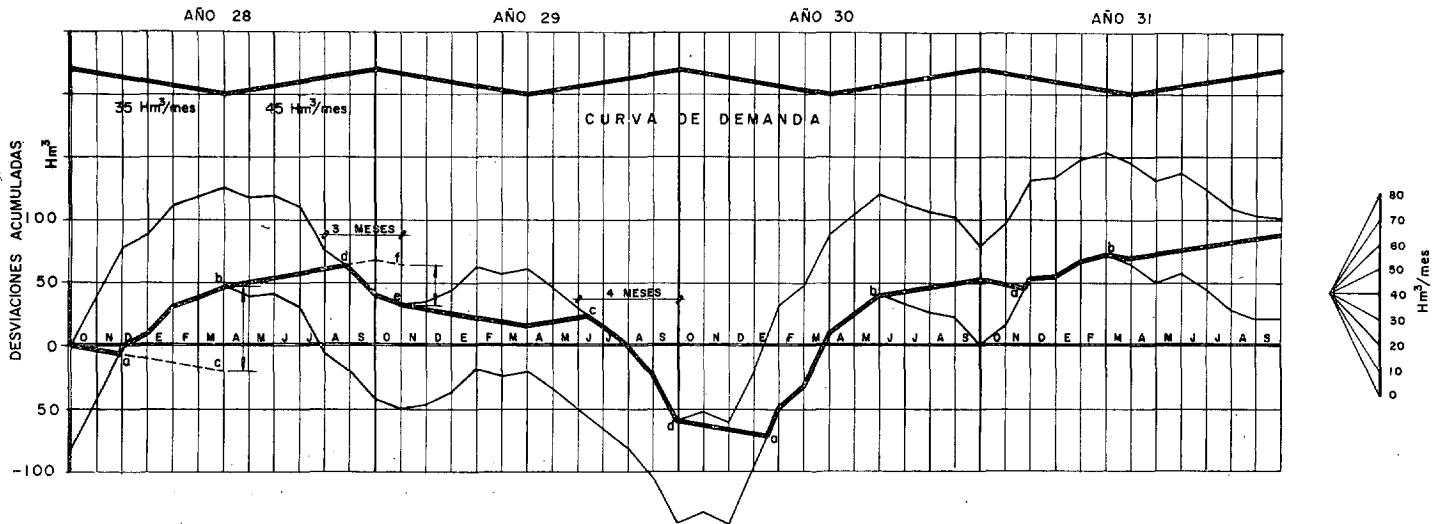


Fig. 1.ª — Garantía de regulación.
(Regulation guaranty).

cidad útil y sólo se podrá satisfacer la demanda en la medida que permitan las aportaciones. El segmento \overline{ef} representará el déficit de agua del período. El proceso continúa hasta terminar con la serie de años.

En la misma figura 1.ª se ve que durante siete meses — agosto y septiembre del año 28; octubre, junio, julio, agosto y septiembre del 29 — no se ha satisfecho la demanda; la garantía mensual, definida anteriormente, del período representado en la figura será:

$$G_m = \frac{48 - 7}{48} = 0,854;$$

de igual modo, durante los años 28 y 29 no se ha proporcionado la regulación deseada:

$$G_a = \frac{4 - 2}{4} = 0,50.$$

Datos de entrada.

Los datos necesarios para el cálculo son:

Resultados.

Para cada tanteo además de la repetición de los datos 2 a 5 se imprimen los siguientes valores:

- Aportación mensual media de la serie formada por sorteo.
- Garantía mensual.
- Garantía anual.

Ejemplo.

Para determinar la capacidad de embalse necesaria para el abastecimiento a una capital española, se empezó determinando las necesidades para usos domésticos, industriales y de riego, resultando una ley de demanda que equivalía a $4,5 \text{ Hm}^3/\text{mes}$ en invierno y $8,0 \text{ Hm}^3/\text{mes}$ en verano. Existían datos de 19 años hidrológicos. Se usó el programa reseñado, variando las capacidades de embalse y en cuarenta y cinco minutos se obtuvieron los resultados siguientes:

Capacidad Embalse	Caudal Período I	Período I	Caudal Período II	Período II	Número de aportaciones	Aportación media	Garantía mensual	Garantía anual
PRIMERA SERIE								
60,000	4,500	6	8,000	6	1 200	7,127	0,945	0,760
70,000	4,500	6	8,000	6	1 200	7,127	0,955	0,790
80,000	4,500	6	8,000	6	1 200	7,127	0,965	0,820
90,000	4,500	6	8,000	6	1 200	7,127	0,972	0,860
100,000	4,500	6	8,000	6	1 200	7,127	0,977	0,870
SEGUNDA SERIE								
60,000	4,500	6	8,000	6	1 200	7,127	0,948	0,730
70,000	4,500	6	8,000	6	1 200	7,127	0,966	0,810
80,000	4,500	6	8,000	6	1 200	7,127	0,976	0,860
90,000	4,500	6	8,000	6	1 200	7,127	0,981	0,900
100,000	4,500	6	8,000	6	1 200	7,127	0,988	0,950

Estos resultados sirvieron a su vez como datos de un estudio económico que determinó que la solución óptima correspondía a la construcción de un embalse de 93 Hm.³ que proporcionaba una garantía anual del 90 por 100.

APORTACIONES UTILIZADAS Y VERTIDAS.

Objeto del programa.

Dado un río, un volumen de embalse y un caudal de equipo, entendiendo bajo esta acepción la máxima ca-

pacidad de los órganos que aprovechan el agua del embalse, se pretende obtener el volumen de aportaciones utilizadas para la finalidad prevista, y el de las vertidas por el aliviadero.

Aspecto teórico.

En la figura 2.^a se representa gráficamente la construcción utilizada de modo normal. En a, se ha representado las curvas de desviaciones acumuladas, separadas entre sí una distancia igual a la capacidad del em-

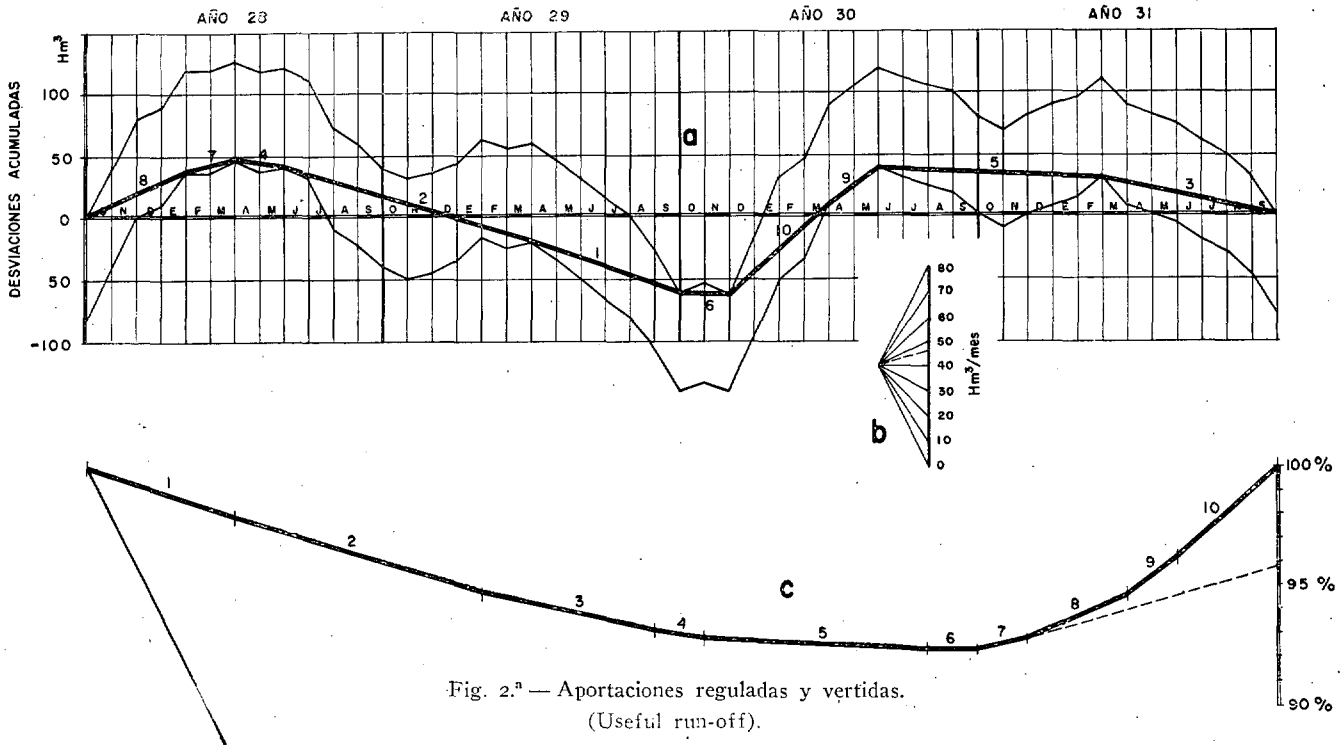


Fig. 2.^a — Aportaciones reguladas y vertidas.
(Useful run-off).

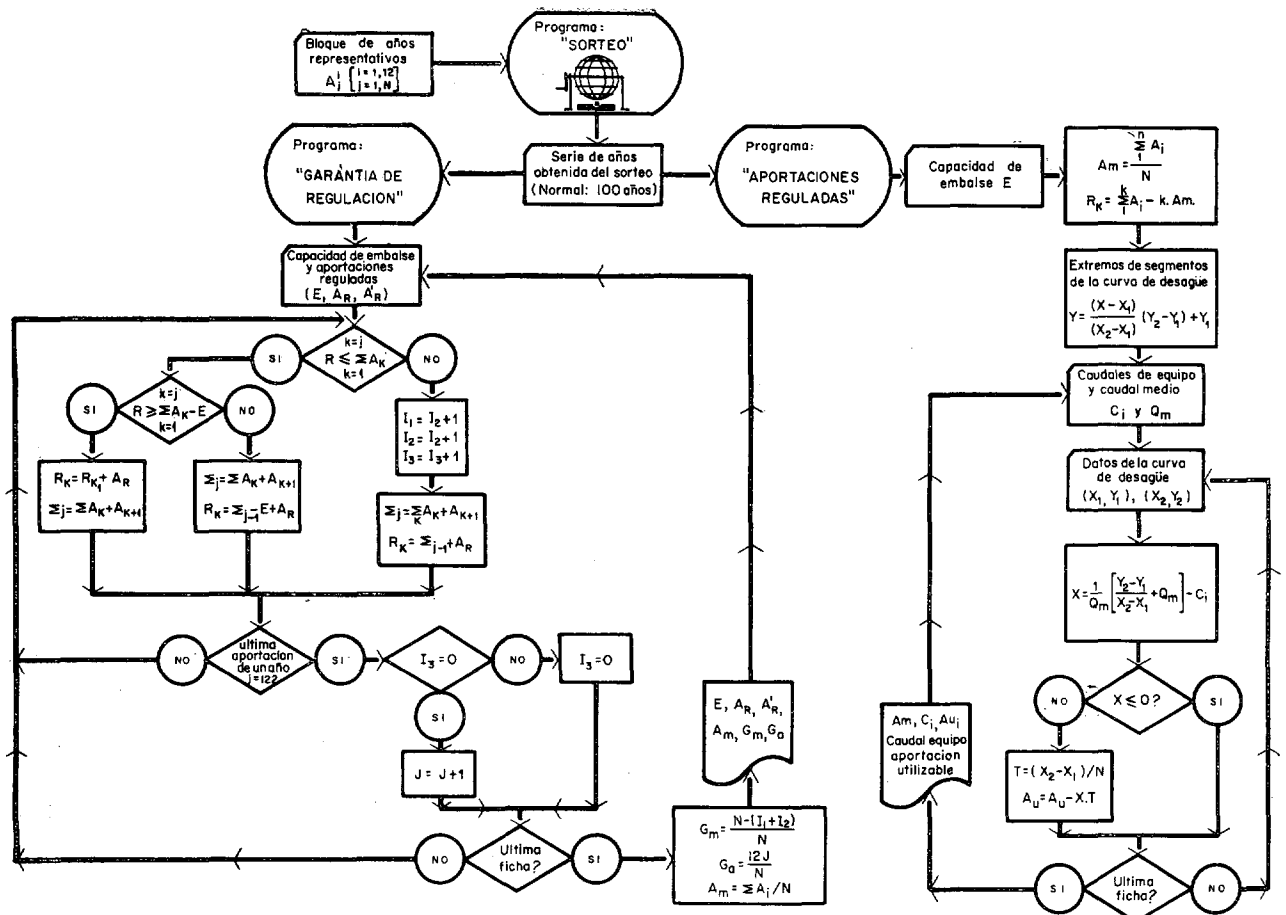


Fig. 3.^a—Garantía de regulación y aportaciones reguladas y vertidas. Organigrama bloque. (Diagram block).

balse; entre ellas se introduce una ley de desagüe de fácil definición intuitiva: su forma es la que adoptaría una cuerda tensa entre los puntos extremos. (Adelantaremos que la mayor dificultad del programa ha sido la de traducir a lenguaje matemático esta definición tan sencilla). Se ordenan luego los segmentos de recta por orden creciente de sus pendientes y a partir de un origen se trasladan paralelamente dichos segmentos por el orden establecido formando una especie de polígono funicular (C). Se traza asimismo por el origen una paralela a la pendiente representativa del caudal 0 (b) hasta cortar a la vertical por el extremo del funicular, y se divide dicha vertical de 0 a 100. Es inmediato demostrar que el porcentaje de aportación utilizado con un caudal de equipo Q, viene representado por la intersección de la escala así determinada con una tangente a la curva funicular, de pendiente la correspondiente a Q. Así, en la figura, se determina que, con un caudal de equipo de 46 Hm.³/mes, se aprovecha el 95,8 por 100 de la aportación.

En el ordenador se utiliza un método análogo para hallar la aportación utilizada, si bien no es necesario ordenar las pendientes, cosa que se hizo por comodidad en el ejemplo de la figura. Los datos que hay que suministrar al ordenador son los siguientes:

1. Aportaciones mensuales A_i , agrupadas por años hidrológicos (Hm.³).
2. Capacidad de embalse E (Hm.³).
3. Caudal de equipo C_i , en porcentaje del caudal medio Q_m .

Se pueden realizar múltiples tanteos variando E y C_i .

Resultados.

Para cada tanteo además de la repetición de los datos 2 y 3 se obtienen los siguientes resultados:

- Aportación media.
- Aportación utilizada en porcentaje de la media.

ORGANIGRAMAS.

En la figura 3.^a se ha representado el organigrama bloque, correspondiente a los tres programas descritos.

CONCLUSION.

Se trata de dos programas muy sencillos, perfeccionables sin duda, cuya principal ventaja pudiera ser precisamente su sencillez y por consiguiente la rapidez y economía. Permiten estudiar gran variedad de hipótesis y proporcionar más datos para la última decisión sobre las dimensiones determinantes de un aprovechamiento hidráulico.