

INDICE DE LOS ESTUDIOS BASICOS NECESARIOS PARA LA PLANIFICACION DEL APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE UNA CUENCA HIDROGRAFICA Y RESUMEN DE PROGRAMAS HIDROLOGICOS PREPARADOS POR EL CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS PARA EL ORDENADOR IBM 11-30 (*)

Por RAFAEL HERAS

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

Damos un índice y comentario general de los estudios que normalmente se realizan como base para los proyectos de aprovechamiento integral de una cuenca hidrográfica, y que pueden dividirse en cuatro partes fundamentales: Recopilación y tratamiento de datos, Hidrología, Edafología y Agronomía, Estudio económico. De estos cuatro puntos se desarrolla de una forma más amplia el relativo al estudio hidrológico completo — necesario para definir los recursos disponibles — y en el que generalmente existen mayores dificultades por falta de series básicas de datos suficientemente extensas y de garantía, sin las cuales es prácticamente imposible llegar a obtener unos resultados fidedignos. A título informativo, resumimos también una serie de programas de hidrología estadística que para el ordenador IBM 11-30 ha preparado el Centro de Estudios Hidrográficos, relativos unos a tratamiento estadístico de datos hidrológicos de todo tipo para análisis, contraste e interpolación de series básicas, y otros a modelos matemáticos para estudios de regulación, máximas crecidas, explotación de sistemas de embalses, etc., que hacen posible el desarrollo de un estudio hidrológico completo de una manera más racional, segura y económica que por métodos convencionales, pero debe tenerse en cuenta que tan importante o más que la utilización de ordenadores en este tipo de estudios es el sentido físico de todos y cada uno de los fenómenos hidrológicos y la filosofía del problema como conjunto, cuya solución dependerá fundamentalmente tanto de la metodología empleada como de los criterios técnico-económicos utilizados.

1. INDICE DE LOS ESTUDIOS BASICOS NECESARIOS PARA LA PLANIFICACION DEL APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE UNA CUENCA HIDROGRAFICA

1.1. Planteamiento general.

- 1.1.1. Características generales de la zona.
- 1.1.2. Características urbanas.
- 1.1.3. Características demográficas.
- 1.1.4. Características económicas.

Es fundamental en cualquier tipo de estudio y totalmente necesario en el caso del aprovechamiento integral de una cuenca hidrográfica el recopilar, analizar y sintetizar las características de todo tipo de la zona y muy especialmente las urbanas, demográficas y económicas, puesto que la incidencia de dichas características, sobre la demanda principalmente, es fundamental para el planteamiento adecuado del estudio. Por otra parte, del estudio de estas características generales deben deducirse, al menos, los órdenes de magnitud del posible desarrollo futuro en función, principalmente, de los recursos utilizables y de las posibilidades económicas y sociales de la zona.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 31 de mayo de 1970.

1.2. Estudio de recursos.

1.2.1. Recopilación de datos.

1.2.1.1. Cartografía.

1.2.1.2. Pluviometría.

1.2.1.2.1. Dato anual.

1.2.1.2.2. Dato mensual.

1.2.1.2.3. Datos máximos de veinticuatro horas.

1.2.1.3. Nieve.

1.2.1.4. Temperatura.

1.2.1.5. Viento.

1.2.1.6. Evaporación.

1.2.1.7. Evapotranspiración.

1.2.1.8. Aguas superficiales.

1.2.1.8.1. Datos de alturas de escala.

1.2.1.8.2. Datos de caudales.

1.2.1.8.3. Datos de aportaciones.

1.2.1.9. Aguas subterráneas.

1.2.1.9.1. Inventario de fuentes, pozos y sondeos.

1.2.1.9.2. Datos de caudales.

1.2.1.9.3. Niveles piezométricos.

1.2.1.9.4. Estimación de caudales utilizables y reservas disponibles.

1.2.1.10. Geología.

1.2.1.10.1. Estudio general.

1.2.1.10.2. Litoestratigrafía.

1.2.1.10.3. Estructura.

1.2.1.10.4. Geomorfología.

1.2.1.10.5. Micropaleontología.

1.2.1.11. Topografía.

1.2.1.12. Hidroquímica.

1.2.1.13. Vegetación.

1.2.1.14. Regadíos.

1.2.1.15. Datos físicos de las cuencas.

1.2.1.15.1. Perfiles generales y particulares.

1.2.1.15.2. Curva hipsométrica.

1.2.1.15.3. Índice de pendiente.

1.2.1.15.4. Índice de compacidad.

1.2.1.15.5. Distribución de altitudes.

Para el estudio de los recursos, el primer paso es la recopilación de datos hidrológicos que, como puede verse en el índice anterior, comprende toda la gama, tanto de documentación básica como de datos de los diversos parámetros hidrológicos, alguno de los cuales, como las precipitaciones, aguas superficiales, aguas subterráneas y geología, van subdivididos en apartados específicos relativos a los datos ne-

cesarios para el planteamiento general de cada uno de los puntos del estudio. Finalmente, y a partir de la documentación básica, se obtendrá una serie de datos físicos de cada una de las zonas de estudio que completarán el conocimiento de sus características y que se utilizarán como índices generales para el estudio de la afinidad hidrológica a fines de comparación de cuencas en caso necesario.

Por otra parte, y en todo lo que se refiere a este párrafo, deberán recopilarse y analizarse todos aquellos estudios, proyectos, planes futuros, etc., que existan en la zona, con el fin de no duplicar esfuerzos y utilizar el máximo posible de información.

1.2.2. Análisis, contraste, corrección e interpolación de datos.

- 1.2.2.1. Método de doubles masas.
- 1.2.2.2. Correlaciones en la masa de datos.
- 1.2.2.3. Correlaciones gráficas.
- 1.2.2.4. Interpolaciones, extrapolaciones y estimaciones.
- 1.2.2.5. Series básicas con datos reales.
- 1.2.2.6. Estimación de series básicas en todos los puntos necesarios.
- 1.2.2.7. Contrastes de las series definitivas.
 - 1.2.2.7.1. Correlaciones altitud-precipitación.
 - 1.2.2.7.2. Correlaciones precipitación-caudal.
 - 1.2.2.7.3. Correlaciones precipitación-escurrentía.
 - 1.2.2.7.4. Correlaciones precipitación-infiltración.

En lo que se refiere al análisis, contraste, corrección e interpolación de datos, se utilizan una serie de métodos estadísticos, aplicados a la hidrología, como la curva de doubles masas, correlaciones analíticas y gráficas, correlaciones de los diversos parámetros en cuencas afines, etc., cuyos cálculos se realizan por medio del ordenador y de acuerdo con la serie de programas que se resumen en la segunda parte de este artículo.

La utilización de estos programas preparados para el ordenador, hace posible la realización del estudio de una manera más racional y óptima, sin olvidar, como ya dijimos en el resumen que es fundamental, el sentido físico del problema y la absoluta necesidad del estudio *in situ* de las características hidrológicas de la zona y el análisis —podríamos decir “personal”— de todos los datos de base, puesto que la estimación directa y el estudio del problema en base a estos datos, a la experiencia y a los hechos ocurridos en tiempos anteriores, tan importantes como el conocimiento directo y a fondo de la zona antes de comenzar los métodos fríos y matemáticos de la estadística hidrológica cuyos resultados —en casos en que no es posible por falta de datos y experiencias directas que sirvan de índice comparativo y de contraste— deben tomarse con las reservas propias de la metodología empleada.

1.2.3. Recursos.

- 1.2.3.1. Definición de cuencas.
- 1.2.3.2. Simulación del régimen de aportaciones.
- 1.2.3.3. Estudios de escurrentías.
- 1.2.3.4. Curvas de distribución.

- 1.2.3.4.1. Tests estadísticos.
- 1.2.3.5. Esquemas generales de aprovechamiento.
- 1.2.3.6. Utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas.
- 1.2.3.7. Estudio de regulación anual e interanual.
 - 1.2.3.7.1. Regulación a caudal constante.
 - 1.2.3.7.2. Regulación con consumos variables.
- 1.2.3.8. Regulación conjunta del sistema.
- 1.2.3.9. Estudio de garantías.
- 1.2.3.10. Optimización de caudales regulados.
- 1.2.3.11. Normas de explotación.
- 1.2.3.12. Estimación de potencial hidroeléctrico.
- 1.2.3.13. Modelos.
 - 1.2.3.13.1. Definición del modelo.
 - 1.2.3.13.2. Tipo.
 - 1.2.3.13.3. Condiciones de simulación.
 - 1.2.3.13.4. Esquemas de utilización.
 - 1.2.3.13.5. Interpretación y utilización de resultados.

El paso siguiente, una vez definidas las series básicas y en función de las técnicas actuales aplicables a las aguas superficiales y subterráneas, es combinar la utilización conjunta de estas dos fuentes de recursos consideradas como una unidad única. Una vez fijadas las unidades hidrológicas del estudio y con el fin de construir y utilizar el concepto de garantía de explotación para cualquier tipo de regulación y estudiarlo estadísticamente, es preciso recurrir a la simulación de un modelo hidrológico mediante una serie artificial suficientemente amplia de años hidrológicos simulados y considerados como variable aleatoria independiente.

A partir de estas series, cuya bondad se contrasta por *tests* estadísticos, se estudia la regulación en sus diversas hipótesis, estableciéndose primeramente la regulación anual e interanual para caudales constantes y variables con el fin de fijar los órdenes de magnitud a considerar en el estudio conjunto del sistema. La optimización de los caudales regulados y las normas de explotación del sistema se definen posteriormente por medio de modelos matemáticos y analógicos del conjunto o de parte del sistema.

1.3. Estudio de máxima crecida.

- 1.3.1. Recopilación estadística de datos.
- 1.3.2. Contraste y corrección de datos.
- 1.3.3. Interpolación de datos.
- 1.3.4. Métodos de cálculo.
 - 1.3.4.1. Métodos directos.
 - 1.3.4.2. Métodos estadísticos.
 - 1.3.4.3. Métodos empíricos.
 - 1.3.4.4. Métodos hidrométricos.
- 1.3.5. Hidrogramas, caudales máximos y volúmenes almacenados.
- 1.3.6. Laminación natural y artificial.

Es indudable la importancia y el interés económico de la predeterminación de los niveles alcanzados por las aguas en crecidas y los caudales máximos de las mismas. El problema es fundamental y complejo y en el orden técnico puede resumirse en dos puntos principales:

- Estimación de los caudales de crecidas producidos en el pasado, durante un período suficientemente representativo.
- Estimación de máximas crecidas previsibles en el futuro.

y no solamente interesa estimar los máximos caudales, sino también todas las características de duración, forma, volumen, etc., de la crecida.

Por todo esto, y debido a la falta general de datos y a la dificultad de conjugar todas las variables, se utilizan diversos métodos, directos, empíricos, estadísticos e hidrométricos, en un intento de utilizar el máximo de información y obtener unos resultados de la máxima garantía posible con unos coeficientes de seguridad amplios pero no excesivos para la máxima crecida de cálculo y, a ser posible, la relación entre ésta y la crecida real, que vendrá condicionada además de por el coeficiente de seguridad adoptado, por la laminación natural y artificial que se produzca.

1.4. *Anteproyecto de red hidrológica.*

- 1.4.1. Estaciones pluviométricas.
- 1.4.2. Estaciones de aforo.
- 1.4.3. Otras estaciones.
- 1.4.4. Aparellaje recomendado.
- 1.4.5. Tratamiento de las observaciones.
- 1.4.6. Normas de explotación.
- 1.4.7. Posibilidad de transmisión directa de datos.

En función de las características hidrológicas de la zona y de la red utilizable, conviene definir en caso necesario y en base a los estudios realizados el establecimiento de una red hidrológica general, teniendo en cuenta fundamentalmente los siguientes criterios:

factores meteorológicos,
factores hidrológicos,
factores topográficos,
factores económicos.

El establecimiento y explotación de esta red puede servir durante el proyecto y construcción de las obras para contrastar y, en su caso, corregir las series básicas estimadas.

Es también importante estandarizar el equipo a utilizar y dar unas normas generales de explotación de la red y de tratamiento previo de las observaciones, teniendo muy en cuenta que los problemas técnicos y el capítulo económico son mucho más importantes en lo que se refiere a la explotación que en la instalación o mejora de la red.

1.5. Estudio de clasificación y evaluación para riego.

1.5.1. Relieve y fisiografía.

1.5.2. Clima y ecología.

1.5.3. Métodos.

1.5.3.1. Taxonómicos.

1.5.3.2. Técnicas de campo.

1.5.3.3. Análisis de laboratorio.

1.5.4. Clasificación de tierras.

1.5.4.1. Propiedades de los suelos en relación con el riego y el drenaje.

1.5.4.1.1. Profundidad del suelo.

1.5.4.1.2. Textura.

1.5.4.1.3. Pendiente

1.5.4.1.4. Erosión.

1.5.4.1.5. Microrrelieve.

1.5.4.1.6. Retención de humedad.

1.5.4.1.7. Permeabilidad e infiltración.

1.5.4.1.8. Drenaje.

1.5.4.1.9. Fertilidad.

1.5.4.1.10. Salinidad y alcalinidad.

1.5.4.2. Descripción de unidades tipo.

1.5.4.2.1. Suelos.

1.5.4.2.2. Tipos de terreno natural.

1.5.4.2.3. Clases para riego.

1.5.5. Riego y drenaje.

1.5.5.1. Calidad del agua de riego.

1.5.5.2. Drenaje y salinidad.

1.5.5.3. Estudio de consumos por cuencas parciales.

El estudio de clasificación y evaluación para riego es el segundo punto fundamental, una vez definidos los recursos utilizables. Por ello debe realizarse un estudio muy completo en el que, una vez estudiada la efectividad de los riegos actuales — en su caso — y definidas las posibilidades y necesidades futuras, se programarán los estudios divididos en tres fases:

Estudios previos de gabinete a partir de la cartografía y documentación utilizable, de la cual se podrá preparar un mapa previo que facilite los trabajos de campo, en los que se realizará una cartografía *in situ*, se tomarán muestras de los distintos tipos de terreno y se estudiará de una manera completa cada una de sus características, concluyéndose con la delimitación de un mapa de clases y subclases para riego, mapas de tipos de terreno natural y su clasificación en el grupo de suelos mundiales.

Finalmente, en los estudios de laboratorio y una vez definidas, en función de los trabajos de campo, las zonas más representativas del estudio, se realizará una serie de análisis físicos, incluyendo el estudio de textura, permeabilidad, punto de marchitez, etc., y químicos pH, materia orgánica, carbonatos, conductividad, sales solubles, etc.

Con todo esto se hará la clasificación del terreno fijando la aptitud y aprovechamiento agrícola, y se calcularán las dotaciones de riego en las distintas zonas y para los diversos tipos de utilización.

1.6. Estudio económico.

- 1.6.1. Planteamiento general.
- 1.6.2. Recursos utilizables.
- 1.6.3. Demandas.
- 1.6.4. Encuestas.
- 1.6.5. Estructura económica de la zona, proyecciones de la demanda y mercado interior.
- 1.6.6. Estudio de costes y beneficio
- 1.6.7. Análisis numérico.
- 1.6.8. Conclusiones.

Para determinar los valores de los parámetros que definen la rentabilidad relativa en la zona del estudio, se realizará en primer lugar un análisis de los costes y beneficios teniendo en cuenta, fundamentalmente, la información obtenida mediante encuestas efectuadas en toda la zona de la forma más representativa posible y por estudios comparativos en zonas semejantes próximas y bien conocidas.

Una vez estimados también los valores de las inversiones, gastos y producciones a partir de los datos del estudio y de las encuestas, se expresan éstos mediante parámetros en forma de corrientes monetarias y cada una de ellas se actualiza una vez definida la tasa de descuento a aplicar en función de la estimación de la vida media del proyecto.

Con estos valores actualizados se obtiene $\text{Ratio} = \frac{\text{Beneficio} - \text{Gastos}}{\text{Costos}}$ tasa interna de rendimiento y período de retorno, debiendo calcularse también las variaciones de la ratio para tener en cuenta las posibles variaciones de las corrientes monetarias a lo largo de la vida del proyecto.

1.7. Conclusiones.

- 1.7.1. Planteamiento general.
- 1.7.2. Estudio de soluciones.
- 1.7.3. Elección de la solución óptima.

En función de los estudios realizados, que pueden subdividirse en dos grandes grupos, Técnicos y Económicos, deberá plantearse una serie de soluciones alternativas de las cuales tratará de elegirse la solución óptima teórica, que estará condicionada también a las necesidades de tipo social y a las posibilidades económicas de inversión, no debiendo, por otra parte, olvidarse la incidencia que en el plan estudiado tendrán los programas de planificación a escala regional y nacional, pues siempre debe tenderse a la elección de soluciones suficientemente flexibles que, permitiendo resolver los problemas actuales, tengan muy en cuenta las necesidades de utilización futura y la escasez progresiva de los recursos frente a las crecientes demandas.

2. RESUMEN DE PROGRAMAS HIDROLOGICOS PREPARADOS P O R EL CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS PARA EL ORDENADOR IBM 11-30

2.1. *Listado datos (LIS-DA).*

Este programa obtiene el listado de series de datos sin limitación de extensión.

2.2. *Multiplicador por un coeficiente (MUL-NU).*

Este programa multiplica series por número fijo y obtiene el listado, así como las fichas perforadas, con estos nuevos valores.

2.3. *Media de datos (ME-DA).*

Este programa calcula las medias de los datos de una serie para cualquier período.

2.4. *Polinomios lineales (PO-LI).*

Dadas las series de datos hidrológicos de varias estaciones, este programa calcula nuevas series funciones polinómicas lineales y da el listado, así como las fichas perforadas de los nuevos valores.

2.5. *Listado y suma de datos mensuales (LIS-SU-ME).*

Dadas las series mensuales de datos hidrológicos de una estación, este programa da las sumas anuales, listando los valores mensuales y anuales y la media anual de la serie.

2.6. *Cálculo de la media y la desviación típica de una población de muestras aleatorias (ME-DES).*

Calcula la media y la desviación típica.

2.7. *Pluviometría media sobre una cuenca (PLU-ME).*

Este programa nos sirve para calcular la pluviometría mensual en una cuenca, obteniendo la media de los datos correspondientes de las estaciones consideradas. El programa está preparado para dar diferentes pesos a cada una de las estaciones.

2.8. *Curvas alturas-caudales (AL-CAU).*

Mediante este programa podemos listar los valores de las curvas alturas-caudales y está preparado para obtener valores que no figuran en las tablas, interpolando linealmente entre los dos puntos más próximos.

2.9. *Transformación de datos de altura de escala diaria en caudales diarios (CAU-DI).*

Con los datos de alturas de escala diarios y los cuadros alturas-caudales del programa anterior, este programa procede al cálculo de los caudales diarios de las diversas estaciones de aforos. Como se ha mencionado anteriormente, los caudales que no figuran en las tablas se calculan interpolando linealmente entre los dos más próximos.

Además del caudal diario, este programa obtiene los caudales máximos y mínimos, los caudales medios mensuales y las aportaciones mensuales.

2.10. *Ordenación de una serie de datos hidrológicos (ORDEN).*

Este programa nos ordena de mayor a menor los datos de una serie.

2.11. *Distancia en kilómetros (DIS-KM).*

Dada la situación geográfica de una serie de estaciones por su latitud y longitud, este programa selecciona los grupos de estaciones a comparar con el criterio de que las distancias entre las estaciones sean menores de una cantidad fija.

2.12. *Dobles acumulaciones (DOB-ACU-1).*

Este programa, dadas las series de datos hidrológicos de un conjunto de estaciones a escala anual, mensual, etc., forma "estaciones tipo" (media aritmética de las estaciones de cada grupo) y a continuación compara cada una de las estaciones con su "estación tipo", acumulando las series y dando, además de las sumas acumuladas, la relación entre las acumulaciones de cada estación con las acumulaciones de la "estación tipo".

2.13. *Dobles acumulaciones (DOB-ACU-2).*

Este programa es análogo al anterior pero no utiliza estación tipo, haciendo todas las comparaciones posibles en cada grupo.

2.14. *Regresión lineal entre dos variables (RE-LI).*

2.15. *Regresión logarítmica entre dos variables (RE-LOG).*

2.16. *Interpolación por mínimos cuadrados y polinomios ortogonales (IN-MI-OR).*

2.17. *Correlaciones mensuales (COR-MEN).*

Dadas dos series mensuales de datos hidrológicos que se quieren relacionar (x , y), este programa nos da los momentos de las series respecto al origen y el coeficiente de correlación, obteniendo:

N = número de datos comunes.

M_{10} = media de la serie y .

M_{01} = media de la serie x .

M_{11} = momento de orden (1.1) de la distribución conjunta.

M_{20} = varianza de la serie y .

M_{02} = varianza de la serie x .

R = coeficiente de correlación.

AP_0 = ordenada en el origen.

AP_1 = coeficiente angular de la recta de regresión.

DP = dispersión.

2.18. *Correlaciones anuales (COR-AN).*

Este programa se diferencia del anterior únicamente en que, partiendo de los datos mensuales, utiliza solamente los anuales, efectuando la correlación entre ellos con arreglo al esquema ya reseñado.

2.19. *Correlaciones dobles mensuales (COR-DOB-MEN).*

Con los datos hidrológicos mensuales de tres estaciones z , x e y , este programa realiza la correlación doble de x e y con z , obteniendo la ecuación del plano de correlación.

2.20. *Correlaciones parabólicas (COR-PAR).*

El esquema es igual al de los anteriores programas que realizan correlaciones, dando éste la ecuación de la parábola de regresión de y sobre x .

2.21. *Corrección de los datos hidrológicos de una estación (CO-y-CO).*

Mediante el programa CO-y-CO podemos completar y corregir una serie de datos hidrológicos dando las ecuaciones de las rectas de regresión $y = a_i x + b_i$ entre las dos series (se puede hacer con una ecuación o con dos simultáneamente). Además, este programa nos da el listado y las fichas perforadas de la estación corregida ya completada.

2.22. *Ley de Goodrich y test de Kolmogoroff (GO-KOL).*

Dados los valores de la serie de datos hidrológicos anuales de una determinada estación, este programa le ajusta una ley de Goodrich y contrasta la bondad del ajuste mediante el test de Kolmogoroff.

Los datos de entrada al ordenador son las series mensuales. El programa obtiene las series anuales, la media, los momentos respecto al origen de orden 2 y 3, los momentos centrales de segundo (varianza) y de tercer orden, así como los tres parámetros de la ley de distribución, de Goodrich (x , n y A^n) de la serie anual.

2.23. *Ley de Gumbel (GUMBEL).*

Este programa ajusta una ley de Gumbel a una serie de valores extremos de datos hidrológicos. El programa nos da los diversos valores que, según la ley de Gumbel ajustada, tienen unas ciertas probabilidades de no ser superados, así como los períodos de recurrencia correspondientes a dichas probabilidades. Con el fin de poder comparar la distribución teórica con la real, el programa procede a listar los datos originales clasificados de menor a mayor, asignándoles a cada uno la frecuencia $\frac{2n-1}{2N}$, donde n es el número de orden y N el total de datos.

2.24. *Regulación a caudal constante o variable (REGU-FIVA).*

Dada la serie de aportaciones mensuales en un punto, este programa calcula las capacidades de embalse estricto mediante el método de las diferencias acumuladas, por la expresión $C = \sum n_i q - A k_i$.

El mismo programa distingue dos casos:

a) Regulación a caudal constante.

Mediante el programa obtenemos el principio y la duración del período de vaciado del embalse, del intervalo de meses sucesivos que da el máximo valor positivo a la suma de las diferencias $n_i q - A k_i$, siendo q_i el caudal mínimo continuo garantizado durante el período considerado. Calcula también el volumen medio regulado en tanto por ciento de la aportación media y en Hm.³ el caudal regulado y las capacidades de embalse estrictas para asegurar estos caudales en tanto por ciento de la aportación media y en hectómetros cúbicos.

b) Regulación con caudal variable.

Se diferencia del anterior porque en él el caudal utilizado para hacer el cálculo de la regulación es variable en cada uno de los meses. Igual que en el caso anterior, el programa nos da el principio y la duración del período de vaciado del embalse, volumen medio regulado en tanto por ciento de Am y en Hm.³, capacidades de embalse estricto en tanto por ciento de Am y en Hm.³ y, además, el número de Ha. regables con los volúmenes medios regulables.

2.25. *Regulación sucesiva (RE-SU).*

Este programa estudia la regulación sucesiva de una serie de embalses sin limitación de número utilizando las curvas de regulación del programa anterior y en la hipótesis de que cada embalse se utiliza primeramente para regular la aportación de la cuenca propia, empleándose las capacidades diferenciales en regular sucesivamente los caudales no regulados aguas arriba, y como resultado se obtienen los volúmenes regulados por cuencas parciales y totales.

2.26. *Ordenación para introducir la garantía (ORDEN-FAL).*

Este programa elimina los valores que no hay que considerar en cada hipótesis de garantía y ordena y lista la nueva serie, a efectos de calcular las curvas de regulación.

2.27. *Curva alturas-volúmenes de un embalse (CUR-AL-VO).*

Este programa calcula la ecuación de la curva alturas-volúmenes del embalse, ajustando una ecuación de la forma:

$$H = \sqrt{a V^3 + B V^2 + C V},$$

a la curva real del embalse.

2.28. *Curva alturas-superficies de un embalse (CUR-AL-SU).*

Igual que la anterior, ajustando una ecuación de la forma:

$$S = \sqrt{A V^2 + B V}.$$

2.29. *Regulación de un sistema de embalses considerando evaporación (REG-EX).*

Este programa de regulación conjunta, considerando evaporación, utiliza los siguientes datos:

- Las series de aportaciones en uno, dos, tres o cuatro embalses, de los que se trata de efectuar una regulación conjunta.
- Los consumos mensuales en Hm.³, suponiendo que se consume anualmente el 100 por 100 en la aportación media de cada embalse.
- La evaporación mensual en cm.
- Las características de los embalses, ecuaciones de las curvas alturas-volúmenes, superficies-volúmenes, capacidad total y volumen de embalse muerto.

El programa realiza entre las aportaciones de cada embalse sorteos equiprobables de cinco en cinco años, hasta mil años, y a las series de cincuenta, cien, ciento cincuenta mil les aplica el proceso de regulación conjunta, en hipótesis de consumo de diversos tantos por ciento de la aportación media, dando

como resultado el tanto por ciento de fallos en cada serie de años para cada uno de los embalses considerados.

2.30. *Curvas de seguridad (CUR-SEG).*

Este programa calcula las aportaciones acumuladas y después las clasifica, considerando los siguientes períodos:

Oct	Nov	Set
Oct + 1	Nov. + 1	Set + 1
.....		
Oct + k	Nov + k	Set + k

calculando después las aportaciones acumuladas correspondientes a una garantía determinada. Posteriormente, calcula las demandas acumuladas para los mismos períodos y seguidamente las superficies evaporantes correspondientes a un volumen cualquiera v_i , tomando como superficie evaporante en un mes la media aritmética de las correspondientes al estado inicial y final.

El volumen medio evaporado cada mes se obtiene multiplicando esa superficie por la altura de evaporación mensual.

A partir de estas pérdidas se obtienen para la curva de garantía dada las pérdidas totales para cada período.

Finalmente, calcula por iteración la curva de seguridad por meses, según la ecuación:

$$E_i(G) = \text{máx} [D_{ik} - P_{ik} - A_{ik}(G)]$$

siendo:

$E_i(G)$ = volumen embalsado al principio del mes (i) para la curva de garantía G .

D_{ik} = demanda real acumulada desde el principio del mes (i) durante k meses sucesivos.

P_{ik} = pérdidas del embalse acumuladas desde el principio del mes (i) durante k meses sucesivos.

$A_{ik}(G)$ = aportación del embalse acumulada desde el principio del mes (i) durante k meses sucesivos, que tiene una probabilidad G de ser superada.

2.31. *Obtención de hidrogramas de avenidas (HI-DRO).*

Calcula el hidrograma para diversas hipótesis de intensidad horaria de precipitación, coeficiente de escorrentía y duración de la tormenta.

2.32. *Efecto laminar de un embalse (LA-MI).*

Este programa estudia el comportamiento de un embalse cuando llega una avenida supuesto un nivel inicial determinado y pudiendo utilizar uno o varios sistemas de desagües. En función de las características del embalse y de la avenida obtiene por iteración las condiciones óptimas para la retención de la avenida.