

EL TANTEO ORDENADO DE SOLUCIONES EN SISTEMAS HIDRAULICOS MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS DE SIMULACION SOBRE ORDENADOR ELECTRONICO

Por JOSE CUENA BARTOLOME

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos del Gabinete de Cálculo del Centro de Estudios y Experimentación de O. P.

En los sistemas hidráulicos complejos pueden plantearse tres problemas principales: Estudiar la configuración de obras más conveniente para servir un conjunto de necesidades; dado un sistema de obras, establecer la estrategia más conveniente para alcanzar unos objetivos prefijados; puede plantearse un problema mixto. Dado un sistema de obras, establecer la estrategia de explotación y el conjunto de obras complementarias más conveniente para alcanzar un objetivo prefijado. Se considera como método más práctico de estudio la programación de un modelo de simulación sobre ordenador para tanteo de soluciones, ya que la elaboración y puesta a punto de un modelo de optimización directa resulta en exceso prolija, y en muchos casos alejado de la realidad física. Como ejemplo de este tipo de estudio se propone el modelo de simulación del sistema del Valle de Ica, realizado por el Gabinete de Cálculo en colaboración con EDES (Empresa de Estudios y Proyectos) del que se describen las cuatro etapas con sus correspondientes organigramas: Organización y preparación de datos; proceso de cálculos mes a mes; obtención del volumen necesario de embalse y cálculo de costos de construcción y explotación de las obras de regulación y conducción.

INTRODUCCION

Un sistema hidráulico complejo consta, en general, de un conjunto de corrientes de agua dotadas o no de elementos de regulación (embalses superficiales o subterráneos) y una serie de objetivos a conseguir (producción de energía eléctrica, abastecimientos de aguas a poblaciones y zonas de riego, evitación de inundaciones).

En el estudio de estos sistemas pueden plantearse los siguientes problemas:

1.º Dado el sistema, se trata de estudiar la estrategia más conveniente de explotación para obtener unos objetivos prefijados, por ejemplo: abastecimiento a una determinada población, ampliación de una zona regable, maximización de los beneficios totales obtenidos de la cuenca, lucha contra las crecidas, etc.

2.º Dado un conjunto de necesidades a satisfacer (regadíos, producción de energía eléctrica) y unas fuentes de suministros (ríos, pozos), se quiere estudiar la configuración y dimensiones más convenientes del conjunto de obras a ejecutar que permita satisfacer las demandas. Los criterios de conveniencia para preferir una solución sobre otra se fijarán por el proyectista en cada caso, de acuerdo con las circunstancias del problema. Puede adoptarse, por ejemplo, el criterio de maximizar los beneficios, minimizar la inversión de primer establecimiento o los gastos de explotación, etc.

3.º También puede plantearse un problema mixto. Dado un sistema hidráulico existente, se desea estudiar la estrategia de explotación que permita mejorar ciertos objetivos actuales a cumplir por el sistema (por ejemplo, ampliación de una zona regable).

Todos estos problemas, cuando el sistema hidráulico es sencillo, pueden resolverse de modo económico mediante los métodos tradicionales.

Sin embargo, cuando el sistema es complejo hay que apelar para su resolución al cálculo electrónico. Dentro de este último procedimiento caben dos maneras de resolverlo:

a) Estudiar y crear un modelo matemático programado para ordenador que a partir de las premisas de optimización o conveniencia prefijadas, y teniendo en cuenta las condiciones de ligadura de los distintos elementos del sistema traducidas a ex-

presiones matemáticas, genere la solución óptima de acondicionamiento o explotación del mismo.

b) Proyectar y programar un modelo matemático que permita simular el funcionamiento del sistema para todo tipo de estrategias posibles en problemas del tipo primero o para cualquier configuración posible en asuntos del tipo segundo. El modelo debe abarcar, reducidas a expresiones matemáticas y lógicas suficientemente cercanas a la realidad, todas las posibles formas de funcionamiento y relación de los distintos elementos del sistema. Mediante este modelo de simulación, y ensayando posibles soluciones en forma sistemática, se puede conseguir la más conveniente de acuerdo con el criterio prefijado.

El procedimiento a) constituye el desiderátum, sólo posible en sistemas muy especiales. En el caso en que puedan linearizarse las condiciones de ligadura y la función objetivo nos encontramos con un problema típico de programación lineal.

Sin embargo, este procedimiento tiene varios inconvenientes:

1. En caso de que no pueda adaptarse el sistema dado a uno de los modelos conocidos de optimización hace falta estudiar un proceso especial, cuya puesta a punto matemática puede ser muy prolija.

2. Por otra parte, las simplificaciones que se introduzcan en el sistema y en las expresiones matemáticas de las condiciones de ligadura, con el fin de ajustar nuestro programa a un modelo ya existente o simplificar el estudio del nuevo modelo a poner a punto, no permiten asegurar el grado de aproximación de la solución obtenida como óptima.

3. La definición matemática del óptimo, por ser ésta una cuestión de criterio, hace que, para un mismo sistema, el problema matemático pueda ser distinto según los objetivos a optimizar.

Teniendo en cuenta lo complejo de un estudio matemático, éste puede resultar fácilmente un instrumento rígido, invalidable por un cambio de criterio en el proyecto.

El modelo de simulación del apartado b) tiene como inconveniente que proporciona la solución mediante tanteos; sin embargo, dada la gran rapidez de cálculo, lectura de datos e impresión de resultados de los modernos ordenadores, un tanteo normal no cuesta más allá de cinco minutos de ordenador; además un proyectista experimentado en el funcionamiento del tipo de sistema de que se trate puede ir tanteando ordenadamente a medida que se van obteniendo resultados de forma que se oriente hacia la solución óptima. Por ello, el número de posibles soluciones a tantear no es tan elevado como a primera vista puede parecer.

Este procedimiento presenta las siguientes ventajas:

1. El procedimiento de simulación no es tan rígido como el de optimización directa, ya que puede crearse un modelo que genere en cada tanteo datos suficientes como para observar la respuesta del sistema no solamente en el aspecto a optimizar, sino en otras facetas del mismo que pueden, incluso, servir para corregir el criterio de optimización.

2. Por otra parte, las relaciones matemáticas entre los elementos del sistema pueden hacerse en el modelo de simulación, tan complejas como sea necesario, para reflejar el fenómeno físico con la mayor exactitud posible sin precisar de las simplificaciones con vistas al encaje del problema en un modelo conocido de optimización directa o una más rápida investigación de un nuevo modelo de este tipo.

3. Un reparo que suele ponerse a los modelos de simulación es que una vez programado el proceso, éste puede resultar rígido, ya que hay que fijar *a priori* la

manera general de funcionamiento del sistema obligando a correcciones en caso de que haya alternativas de funcionamiento no previstas. Sin embargo, mediante una programación cuidadosa pueden incluirse como datos, coeficientes de expresiones y claves que seleccionan distintos procesos que permitirán una gama de posibilidades satisfactorias para los casos normales.

El modelo de simulación constituye un instrumento permanente al servicio del sistema, tanto en su proyecto como en su explotación, ya que su estructura permite incluir fácilmente las modificaciones del sistema y a la experiencia de la explotación de éste permitirá la corrección y afinamiento de los coeficientes y fórmulas matemáticas del modelo para que refleje la realidad con la mayor aproximación posible.

A continuación, como ejemplo ilustrativo de las posibilidades del método, vamos a describir el modelo matemático para tanteo de soluciones en el proyecto del Valle de Ica (Perú). Este modelo fue realizado por el Gabinete de Cálculo en colaboración con EDES (Empresas de Estudios y Proyectos Técnicos) y el Ministerio de Obras Públicas del Perú.

El modelo que se describe pertenece a los del tipo segundo; es decir, se trata de encontrar la solución óptima de configuración de un sistema hidráulico que debe servir unas demandas preestablecidas a partir de unas disponibilidades de agua cuyas fuentes se conocen.

1. DESCRIPCION DEL SISTEMA DEL VALLE DE ICA (PERU)

Se trataba de encontrar la forma óptima de asegurar los actuales riegos del Valle de Ica (en la cuenca del Pacífico) y la puesta en riego de nuevas zonas en el mismo, utilizando los recursos actuales (escasos) en conjunción con el transvase de las cuencas atlánticas transandinas, en donde existían disponibilidades de agua.

A cada posible emplazamiento y dimensiones de la zona a regar le correspondían un conjunto de ríos de costa que podían alimentarla y unos itinerarios de transmisión y distribución del agua de riego mediante conducciones de distinto tipo (canales, túneles, tuberías, impulsiones).

También, según el emplazamiento de la zona a regar, podía contarse con pozos para el suministro de la demanda de la zona regable.

Asimismo, a cada situación de la zona le correspondía una serie de cuencas transandina, cuyo transvase es factible para el emplazamiento previsto. De esas cuencas se preveía, asimismo, uno o varios itinerarios viables de transvase.

Una vez fijados los elementos, mediante unos estudios iniciales de las características topográficas, geológicas y económico-sociales que delimitaban las soluciones posibles desde el punto de vista técnico, quedaban como variables a tantear dentro del campo delimitado:

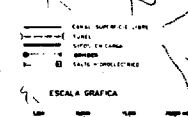
- 1.^a La dimensión de la superficie a regar.
- 2.^a Ordenación de la misma.
- 3.^a Cuenca transandina de la que efectuar el transvase.
- 4.^a Dentro de ésta, grado de acondicionamiento de la misma en función del balance de disponibilidades y demandas en ella que obligaría a distintos volúmenes de embalse.

La fijación de estos cuatro puntos, de forma que la solución adoptada fuera la más conveniente, resultaba muy difícil de justificar en un estudio de viabilidad sin comprobar el funcionamiento del sistema para todas las soluciones posibles, eligiendo

```

C:\MSDEV\BIN>cd C:\MSDEV\BIN
C:\MSDEV\BIN>del C:\MSDEV\BIN\*.exe
C:\MSDEV\BIN>

```



AREA REGABLE EN POTENCIA DESTINADA
A ESTUDIOS ARQUEOLOGICOS..... XVI

Figura 1.

después la más interesante, ya que la traducción matemática con vistas al estudio de un modelo de optimización directa de estos cuatro objetivos no era viable. Por ello se optó por la creación, como un instrumento rápido de tanteo, del modelo de simulación programado para ordenador.

2. ESQUEMA LOGICO GENERAL DEL MODELO DE TANTEO DE SOLUCIONES

El modelo matemático de tanteo debía permitir la obtención, para cada combinación superficie-agrupación atlántica de embalses, de unos resultados que sirvieran para adoptar una decisión sobre la conveniencia de la misma. La dirección técnica del proyecto decidió adoptar como variables-objetivo a exigir al modelo los costos de establecimiento y explotación anual de las obras a realizar, lo que permitiría fijar la cuantía de la inversión (dada la sencillez de la evaluación de la función de producción, por ser zona agrícola, se consideró suficiente la obtención del costo de la inversión).

Se planteaba, por tanto, el problema de crear un instrumento lógico que simulara la forma de satisfacer, mediante la explotación de las obras del sistema, la demanda de agua de riego de la zona tanteada a partir de las tres fuentes principales: las aportaciones en los ríos de costa, las existencias y aportaciones en el depósito subterráneo, extraídas mediante pozos y las disponibilidades atlánticas. Como consecuencia de este balance entre existencias y demandas a lo largo de la serie histórica de dieciocho años con que se contaba se obtuvo el volumen preciso de embalse con garantía unidad sobre la serie de años estudiada y el volumen máximo mensual a transvasar de la cuenca atlántica.

El volumen de embalse obtenido permitía, mediante su distribución en las distintas cerradas previstas para la agrupación, calcular el costo de la regulación a partir de las tablas de costos de construcción y explotación de las presas de embalse correspondientes, obtenidas con anterioridad como datos para el modelo.

El máximo volumen derivado mensualmente permitía la obtención del caudal en m.³/seg. que debían llevar las redes de transvase, transmisión y distribución; una vez fijados estos caudales, mediante los datos de itinerario y curvas de costo por kilómetro en función del caudal, se podía valorar el costo total de estas redes.

Dado que la preparación y chequeo de datos para el tanteo de una solución posible sería muy engorroso y obligaría a repetir trabajos que eran comunes a varias soluciones, se optó por agrupar y perforar los datos generales en una cinta magnética y preparar los necesarios para tantear una solución mediante programa, a partir de unas claves sencillas, como datos. Con ello las etapas generales del proceso lógico proyectado eran las siguientes:

1.^a Selección a partir de los datos generales de los correspondientes a la solución a tantear.

2.^a Con los datos preparados, ejecución de los cálculos mes a mes, de distribución de la demanda entre las fuentes de existencias.

3.^a Como resumen del cálculo mes a mes en los dieciocho años, obtención del volumen de embalse con garantía 1,00 sobre la serie histórica de años estudiada y el caudal de dimensionamiento de la red de transvase.

4.^o Cálculo de costo de los distintos elementos de la inversión.

3. DATOS EXISTENTES.

Se confeccionó una cinta magnética maestra incluyendo los siguientes datos:

1. En primer lugar, los datos generales diversos, tales como las demandas mensuales a lo largo del año por cada 1.000 Ha., aportaciones anuales en el embalse subterráneo a lo largo de la serie de años a estudiar y coeficientes definitorios de la estrategia de explotación durante el año de dicho embalse subterráneo mediante pozos. Se definieron dos juegos de 12 coeficientes mensuales. El modelo adoptaba un juego u otro según la aportación del año en la bolsa subterránea.

2. Las aportaciones mensuales en los 15 ríos de costa y en 22 cerradas-base previstas en las zonas de emplazamiento de posibles embalses. Las cerradas-base se eligieron de tal forma que, conocidas las aportaciones en ellas, pudieran generarse las correspondientes a una cerrada intermedia mediante combinación lineal de las aportaciones en las mismas.

A cada uno de los elementos (cerradas y ríos) se le atribuyó una clave de forma que, mediante programa, por lectura de aquella, el ordenador seleccionara de la cinta maestra las aportaciones en el elemento de referencia. Así, por ejemplo, a la cerrada que en el proyecto se llamaba E 21 se le atribuyó la clave 25 y al río T13A le correspondió el número 12.

3. Las tablas de costo por kilómetro de los túneles (una tabla para cada tipo de túnel en función del caudal). (No se incluyeron tablas de costo por kilómetro de canales y tuberías de elevación por haberse ajustado a estas curvas unas funciones polinómicas que hacían su uso más fácil que por tablas.)

4. Las tablas de costo de las distintas agrupaciones posibles de embalse en función del volumen almacenado.

4. DESCRIPCION DE LAS DISTINTAS ETAPAS DEL CALCULO.

4.1. Etapa 1.^a:

Selección a partir de los datos generales de los particulares de la solución a tantear.

El proceso de esta etapa consiste en crear, a partir de los datos particulares introducidos por ficha y de los datos comunes de la cinta maestra (núm. 1), una nueva cinta (la núm. 2), en la que se almacenan en el orden requerido por el programa principal de cálculo (etapas 2, 3 y 4) los datos ya seleccionados para la combinación a tantear.

El proceso lógico se indica en el organigrama de la figura 2.

El significado de los nombres de las variables que se emplean se detallan a continuación:

NE = Número de cerradas de embalse a tener en cuenta a efecto de disponibilidades transandinas.

NR = Número de ríos de costa que sirven la zona regable cuyo suministro se tantea.

NC $\left\{ \begin{array}{l} = NR + 1 \text{ si en la cuenca transandina se encuentra el embalse de Chococlocha.} \\ = NR \text{ en caso contrario.} \end{array} \right.$

NM = Número total de meses del proceso de simulación.

L1 = Indicador para suprimir parte de la salida de resultados.

En caso de que así se desee (L1 = 01).

L2 = Indicador de situación de la zona a regar (L2 = 00 Norte y L2 = 01 Centro o Sur).

$L(I)$ = Claves de los ríos de costa que abastecen la zona. En zona norte se incluye también la clave embalse de Chococlocha (16).

$VR(I)$ = Coeficientes que afectan a las aportaciones de los ríos.

Normalmente estos coeficientes son iguales a la unidad. Pero si se han determinado las aportaciones a partir de la escorrentía, puede interesar amplificar o disminuir las aportaciones para tener en cuenta distintos valores de aquélla.

$M(I)$ = Claves de las cerradas integrantes de la cuenca transandina a efectos de disponibilidades de agua.

$VAR(I)$ = Coeficientes de las aportaciones de las cerradas con vistas a obtener las disponibilidades totales de agua por combinación lineal de las aportaciones de las cerradas integrantes.

$AS(J)$ = Aportaciones anuales en el depósito subterráneo.

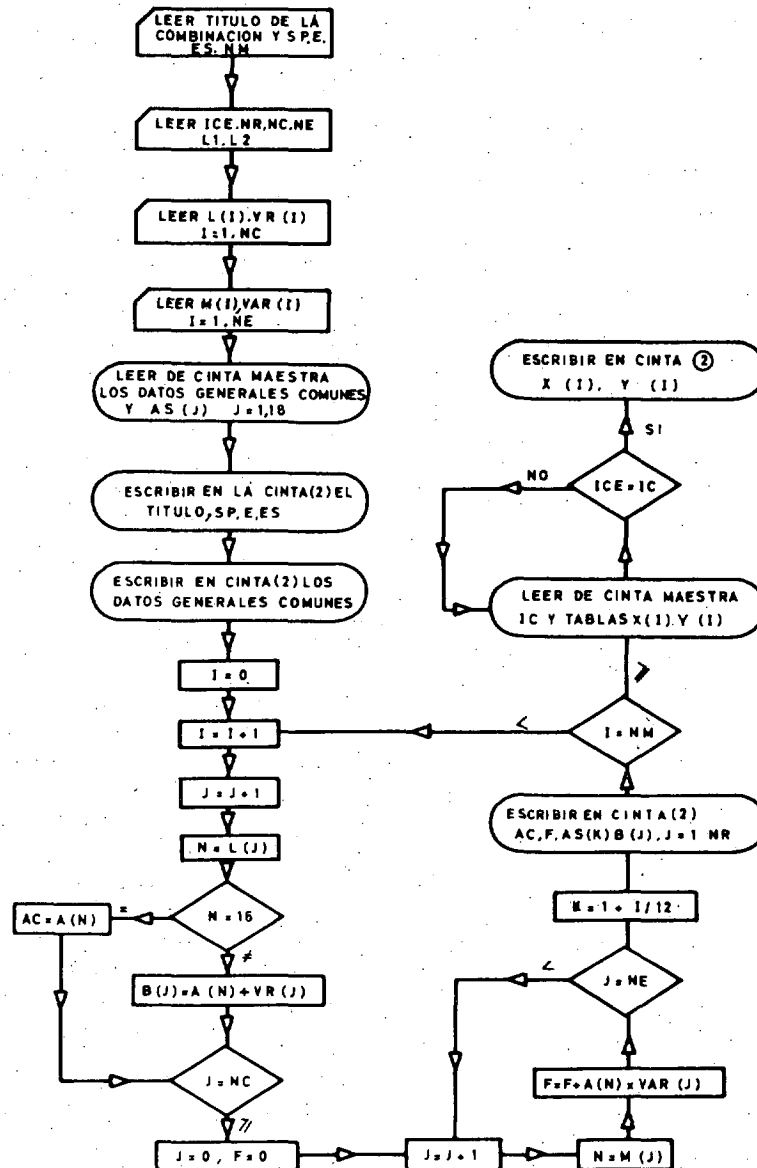


Fig. 2. — Modelo de simulación del sistema hidráulico del valle de Ica. Programa de selección de datos de la cinta maestra.

Datos generales comunes:

— Curvas de costo de túneles. Se almacenan con un registro inicial que indica el número de puntos de la tabla seguida de un registro por cada pareja de puntos (abscisa y ordenada).

— Demandas mensuales en HM3 por cada 1.000 Ha.

— Coeficientes de gastos mensuales en pozos.

4.2. Etapa 2.^a

Realización de los cálculos mes a mes.

A partir de una demanda anual distribuida mensualmente de una forma dada, se realiza en esta etapa del cálculo, para cada uno de los 216 meses del período considerado, la distribución de la demanda entre las fuentes de abastecimiento de acuerdo con unos criterios que constituyan el proceso operatorio adoptado para el modelo de simulación.

Primeramente se leen los datos generales de la cinta preparada en la etapa 1.^a y a continuación para cada mes se totalizan las aportaciones de los ríos de costa.

Si de la comparación de las existencias en costa con la demanda de agua resulta que hay déficit, esto debe cubrirse de la siguiente manera según el emplazamiento de la superficie a regar:

1. En los emplazamientos de las zonas centro y sur con el transvase de las cuencas transandinas correspondientes.

2. En la zona con las disponibilidades de agua en pozos. Caso de que éstos no fueran suficientes para satisfacer las necesidades se apelará a las cuencas transandinas que pueden suministrar este emplazamiento.

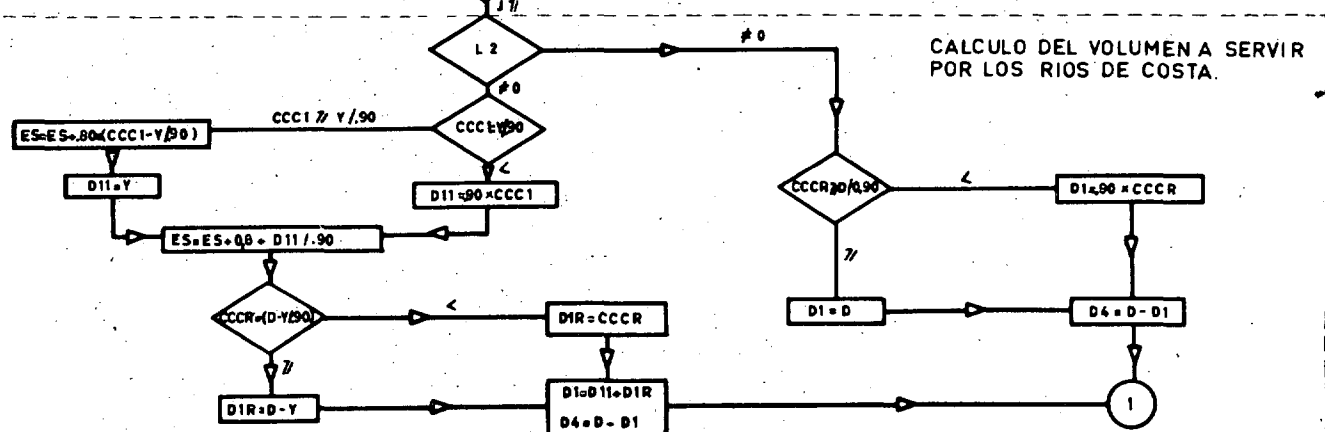
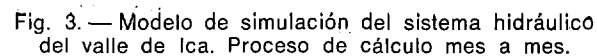
El proceso de cálculos mes a mes obtiene, por otro lado, el balance entre disponibilidades y demandas de agua en la cuenca transandina a efectos de cálculo ulterior del volumen necesario de regulación.

En las zonas centro y sur las existencias de agua vienen dadas por la combinación lineal de aportaciones en las cerradas afluentes a la cuenca que se tantea como suministradora. Este valor se calcula en la primera etapa y se designa en los cálculos con el símbolo FK. En la zona norte, a este valor de FK se le añade el caudal vertido y filtrado por un embalse existente actualmente en Chococlocha en cabeza de la cuenca.

Para el cálculo del caudal vertido por este embalse se ha introducido en el modelo un subprograma que simula la estrategia de explotación del mismo, teniendo en cuenta la época del año y el volumen embalsado en ese momento; esta estrategia se corresponde con las normas actuales de explotación y se han comprobado que con ella se obtiene el aprovechamiento óptimo del volumen de regulación.

Caso de que al final del período considerado se obtenga un resultado negativo en el balance total, de disponibilidades y demandas, se envía un mensaje (NO PROBAR EMBALSES MENORES EN LA REGION) indicativo de que las disponibilidades de agua de la cuenca estudiada son insuficientes y por tanto cualquier subcuenca obtenida dividiendo ésta también lo será, esto nos permite eliminar combinaciones del total de las posibles a tantear, ya que se fijó como criterio selectivo el volumen de embalse con garantía 1.00 sobre la serie histórica.

Finalmente, en esta segunda etapa de cálculo, por comparación entre las demandas mensuales de agua a la cuenca transandina a lo largo del período de años estudiados, se obtiene el caudal máximo mensual a transvasar, que servirá para el dimensionado de las redes de conducción.



En los gráficos 3 y 4 se presentan los organigramas del proceso de cálculo mes a mes. En el mismo, junto a la descripción detallada de las operaciones aritméticas y lógicas, se incluyen las denominaciones de los procesos parciales. Los

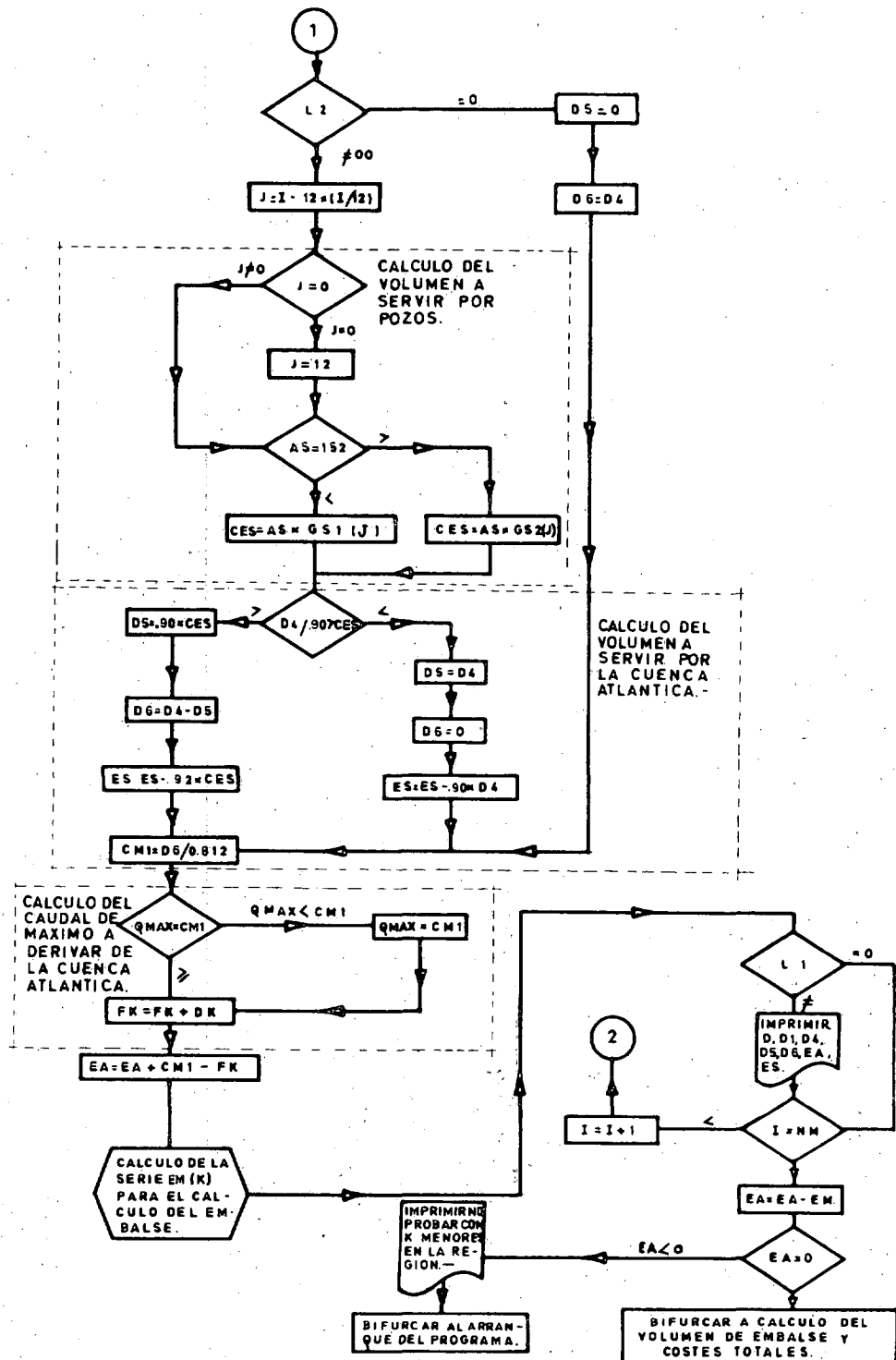


Figura 4.

significados de los símbolos empleados se indican a continuación (se han omitido los que ya aparecen en la primera etapa con el mismo nombre).

E = Estado del embalse de Chococlocha (en mm.³).

ES = Estado inicial del embalse subterráneo.

GS1(I) (I = 1,12) = Coeficientes de gasto mensual de agua de pozos para los años en que la aportación del agua subterránea (AS) supere un valor prefijado (este valor se adoptó tras varios tanteos).

GS2(I) (I = 1,12) = Análogo al anterior, pero aplicables cuando la aportación de agua subterránea es menor del valor prefijado.

DM(I) (I = 1,12) = Demandas mensuales en Hm.³ por cada 1.000 Ha.

Y { Dotaciones totales mensuales de la porción de la zona regable que afecta al depósito subterráneo existente en la zona norte (estos valores se emplean para el
Z { cálculo de la aportación en el depósito subterráneo que alimenta los pozos).

A(J) (J = 1, NR) = Aportaciones en los ríos de costa.

D = Demanda total en el mes considerado.

DE" = Volumen servido por el embalse de Chococlocha.

CCC1 = Parte de la demanda total que se distribuye en el grupo de canales en la zona norte que influye sobre el embalse subterráneo.

CCCR = Resto de la demanda total que se distribuye.

CES = Volumen servido por el depósito subterráneo.

D1 = Parte de la demanda total satisfecha por los ríos de costa.

D4 = Parte de la demanda total servida por pozos.

D6 = Parte de la demanda total servida por las cuencas atlánticas (transandinas).

CM1 = Caudal mensual de demanda en cuenca atlántica (transandina).

QMAX = Máximo caudal mensual demandado a la cuenca atlántica en el período estudiado.

FK = Aportación total en la cuenca atlántica, incluyendo lo vertido por Chococlocha.

EA = Balance acumulado mes a mes entre demandas y disponibilidades.

4.3. *Cálculo del volumen necesario de regulación en las cuencas transandinas.*

Este subprograma genera mensualmente, a partir de los resultados (etapa 2.^a) del balance mes a mes, entre existencias y demandas en la cuenca atlántica, suministro, la serie de valores del volumen de embalse necesario para regular cada período de vaciado que se presenta a lo largo de los dieciocho años, eligiéndose a continuación el máximo. La organización lógica del proceso se reduce a detectar cuándo comienza y termina un período de vaciado, calcula el volumen necesario que hay que tener acumulado al principio del mismo para asegurar el servicio. Operando de esta manera se obtiene un conjunto de posibles valores de embalse. El mayor de todos ellos asegurará el servicio a lo largo de los dieciocho años.

El proceso se describe en el organigrama de la figura 5, en el que se emplean los nombres de variables con el siguiente significado. (Se omiten aquellas cuyos nombres ya se han definido en anteriores etapas.)

DEL = Balance en el mes I entre demandas y existencias atlánticas.

DEL1 = Balance del mes I-1.

VE = Acumulador en el que se suman los déficits entre dos períodos consecutivos de desembalse.

EM (K) = Volumen de embalse necesario para regular el período de vaciado K.

ET = Volumen del embalse con garantía 100 por 100 en el período considerado.

el costo de construcción de un determinado volumen de embalse en una cuenca o subcuenca se ha previsto un conjunto de tablas volumen-costos, una por cada cerrada considerada, precedidas por un coeficiente que refleja la fracción del volumen total que debe adjudicarse a esa cerrada a efectos de cálculo de costo. Estos coeficientes se fijan por consideraciones del proyectista sobre las conveniencias de las distintas cerradas.

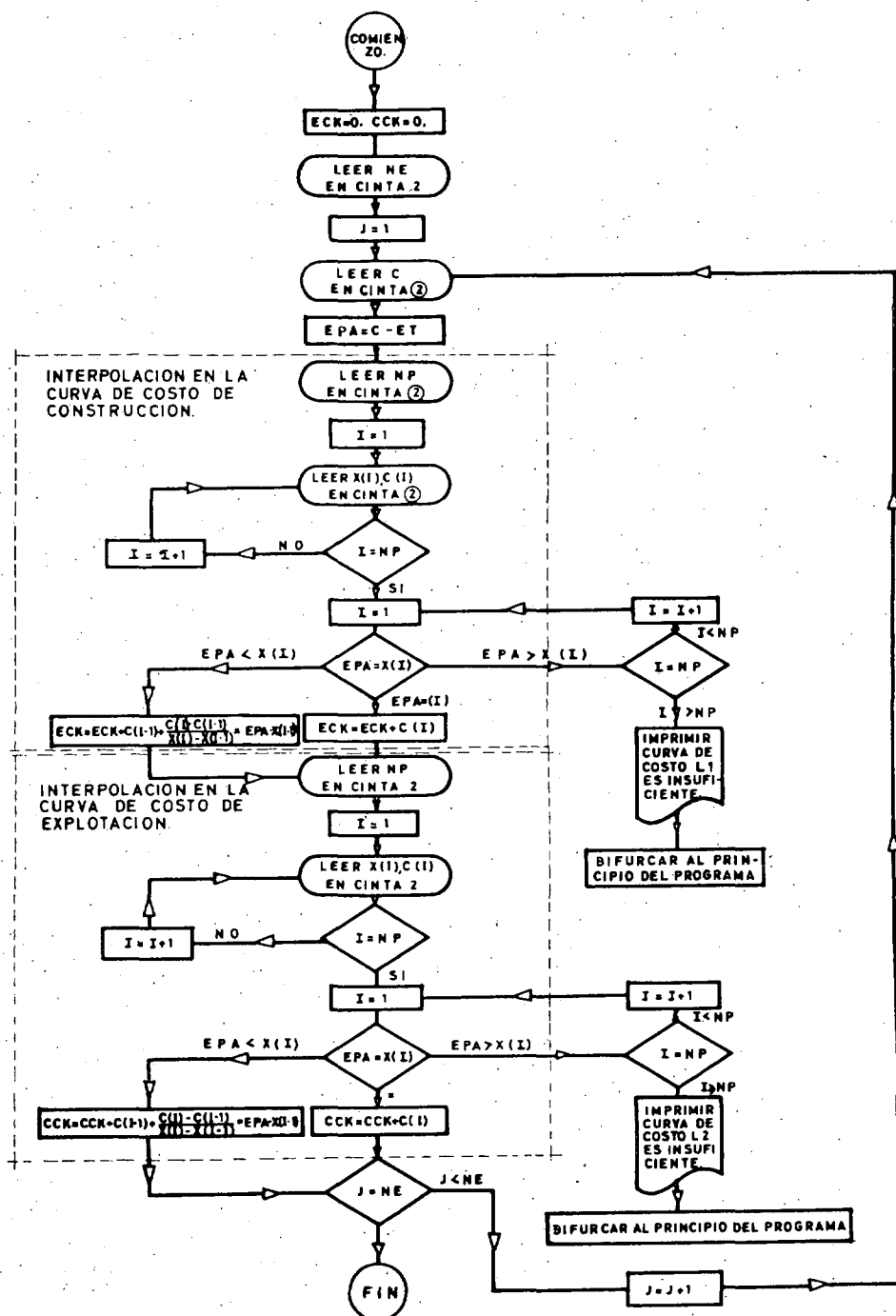


Fig. 6.— Modelo de simulación del sistema hidráulico del valle de Ica. Cálculo de los costos de construcción y explotación del volumen de embalse regulador.

El proceso de cálculo del costo total de construcción de un volumen regulador en la cuenca considerada consiste en leer todas las tablas volumen-costos y sus coeficientes, adjudicar la parte correspondiente a una cerrada afectando el volumen total del coeficiente respectivo e interpolando el volumen calculado de esta forma en la tabla para calcular el costo parcial.

Este proceso se realiza con todas las curvas de costo de establecimiento y de explotación y se obtiene el costo total sumando los parciales. El proceso se refleja en el organigrama de la figura 6, en donde se emplea la siguiente nomenclatura:

ECK, CCK = Costos totales de construcción y explotación, respectivamente, del conjunto de embalses en la cuenca de referencia.

NE = Número de embalses parciales en la agrupación.

C = Coeficiente en tabla de costos de cada cerrada para calcular la parte del volumen total que le corresponde.

EPA = Volumen de embalse parcial correspondiente a la cerrada.

NP = Número de puntos en la tabla de interpolación.

X(I) = Abscisas de los puntos de la curva de costo (volúmenes en Hm.³).

C(I) = Ordenadas de la curva de costo.

Para el cálculo del costo de las redes de transvase, transmisión y distribución a la zona regable se han concebido cuatro tipos de elementos de conducción: canal, túnel, sifón y bombeo de aguas. Dentro de cada tipo se han considerado subtipos según las condiciones del terreno y el caudal. En el caso del túnel se han considerado subtipos teniendo en cuenta la longitud del túnel y el terreno atravesado.

El proceso de cálculo del costo total se realiza dividiendo el itinerario en tramos según el tipo de red de conducción empleado, se redactará una ficha con una serie de índices que reflejan la red a que pertenece (si es de transvase, transmisión o distribución) y el tipo y subtipo de conducción correspondiente. En esta ficha se incluye asimismo la longitud del tramo en kilómetro y un coeficiente que indica el porcentaje del caudal derivado de la cuenca transandina que circula por el tramo estudiado.

El programa selecciona, a partir de la combinación de índices de la ficha-dato, la fórmula o la tabla para calcular el costo por kilómetro y a partir de ella se obtiene el costo parcial del tramo que se acumula al costo de los respectivos tramos.

Los pasos y alternativas del programa se indican en el organigrama de la figura 7.

Los nombres de variables y su significado se indican en la tabla siguiente:

P(I) = Abscisas de las tablas de costo por Km. de los túneles (caudales).

G1(I), G2(I), G3(I), T1(I), T2(I), T3(I) = Ordenadas de las curvas de costo de construcción por Km. de los distintos tipos de túnel (10⁶ soles) correspondientes a las abscisas.

E1(I), E2(I), E3(I), F1(I), F2(I), F3(I) = Ordenadas de las curvas de costo de explotación por Km. de los distintos tipos de túnel correspondientes a las abscisas P(I).

COT, ECOT = Costo total de construcción y explotación, respectivamente, de la red de transvase.

CET, ECET = Lo mismo anterior para la red de transmisión.

CCT, ECT = Idem para la red de distribución.

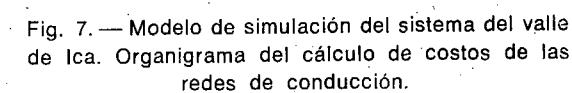
L3 = Indicador — 01 — el tramo pertenece a la red de transvase.

02 — " " " transmisión.

03 — " " " distribución.

00 — indica ficha final de itinerario.

L4 = Indicador — 01 canal.



```

C      MODELO DE SIMULACION PARA EL SISTEMA HIDRAULICO DEL PERU
      DIMENSION DMA%12,DMB%12,DMC%12,DE%12,GS1%12,GS2%12
      DIMENSION A%40,EXA%216,DM%12,DES%12
      COMMON EXA,DM,ETP,MAG,LC
      DIMENSION EM%70
      JU#9
      LC#0
      MAG#1
      1 REWIND JU
      READ%JU,100
      WRITE%3,751,MAG
751  FORMAT%1H1,T74,6HPAGINA,I3R
      LC#LC+1
      WRITE%3,100
      GO TO%201,202,203,204,9,LC
201  WRITE%3,117
      GO TO 205
202  WRITE%3,120
      GO TO 205
203  WRITE%3,118
      GO TO 205
204  WRITE%3,119
205  LINEA#6
      READ%JU,SP,E,ES,NM,NR,L2
      IF%L2%12,12,14

```

A4N2-AE15

MES	COSTA	POZOS	ATLANTICO	SUBT	EX-D
1	99.37	9.55	35.59	1020.01	265.85
2	118.37	0.00	0.00	1078.10	684.88
3	95.15	0.00	12.10	1096.42	1308.12
4	62.15	9.55	20.50	1097.00	1661.85
5	47.80	14.86	9.26	1083.87	2024.19
6	0.00	4.24	41.53	1069.23	2163.85
7	0.00	4.24	40.87	1054.39	2198.79
8	0.00	4.24	41.53	1039.75	2247.05
9	0.00	14.86	50.53	1020.57	2249.73
10	0.00	14.86	72.76	1008.52	2275.58
11	32.49	14.86	46.81	1002.61	2340.53
12	37.18	14.86	76.12	1007.84	2321.61
	105.0				

	43.				33309.24
206	84.	17.02	16.52	1640.70	33462.80
207	54.4	17.02	35.82	1636.56	33774.16
208	10.95	17.02	64.23	1624.41	33851.93
209	6.72	17.02	48.18	1605.51	33890.29
210	0.00	4.64	41.13	1590.47	33895.64
211	0.00	4.64	40.48	1575.22	33879.41
212	0.00	4.64	41.13	1560.18	33868.21
213	0.00	4.64	60.75	1551.44	33820.17
214	0.00	17.02	70.60	1537.19	33752.04
215	0.00	17.02	77.14	1525.04	33683.76
216	23.54	17.02	87.61	1526.36	33635.77

EMBALSE %HM3 CAUDAL %M3NSEG

310.93 48.26

A4N2-AE15

COSTOS DE ESTABLECIMIENTO

EMBALSE	RED OT	RED ET	RED CT	TOTAL
1660.394	9243.564	2457.942	2636.211	15998.112

COSTOS ANUALES

EMBALSE	RED OT	RED ET	RED CT	TOTAL
246.317	1530.096	394.566	421.575	2592.556

Fig. 8. — Modelo de simulación del sistema del valle de Ica. Cabecera del programa y resultados de un cálculo.

- 02 túnel.
- 03 sifón.
- 04 bombeo.

L5 = Indicador de subtipos de conducción.

L6 = Sólo se utiliza en los túneles, puede tomar los valores 01, 02, 03 según la longitud del túnel.

X = Longitud en Km.

CQ = Coeficiente de caudal.

Z = Costo de construcción de un tramo.

ZP = Costo de explotación del mismo tramo.

5. RESULTADOS DEL CALCULO.

En la figura 8 aparece un ejemplo de la salida del tanteo de una solución precedida de una cabecera del listado del programa FORTRAN empleado para el cálculo. En primer lugar aparece el título de la combinación y a continuación el listado de la distribución de la demanda mes a mes en Hm.³ entre las distintas fuentes de suministro; a continuación se escribe el caudal de dimensionamiento de la red de transvase y el volumen total de embalse para asegurar el servicio en el período estudiado; finalmente se escriben los costos de establecimiento y explotación del embalse y las distintas redes de suministro en millones de soles peruanos.

El tiempo invertido por el ordenador IBM 360/40 en realizar los cálculos correspondientes al tanteo de una solución es de dos minutos.

Para la fijación de la solución más conveniente mediante los resultados del cálculo con el modelo se realizaron cerca de 250 tanteos.