

**Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de
Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta.**

Versión 3.03.01

Manual del Usuario

J.Andreu Alvarez

A.Solera Solera

J.Capilla Romá

J.Ferrer Polo

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

MANUAL DEL USUARIO DEL MODELO SIMGES V 3.00

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ELEMENTOS CONSIDERADOS	2
3. ESQUEMA DEL USUARIO	4
4. BREVE EXPLICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO INTERNO DEL MODELO.....	5
5. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS CONSIDERADOS.....	6
5.1. NUDOS.	6
5.2. CONEXIONES.	6
5.3. APORTACIONES.	9
5.4. IMPORTACIONES DE AGUA.	9
5.5. EMBALSES.	9
5.6. DEMANDAS CONSUNTIVAS.	11
5.7. ELEMENTOS DE RETORNO.	13
5.8. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	13
5.9. ACUÍFEROS.	14
5.9.1. Acuífero Depósito.	15
5.9.2. Acuífero Unicelular.	15
5.9.3. Acuífero con manantial.	16
5.9.4. Acuífero pluricelular	17
5.9.5. Acuífero conectado con río con modelación con el método de los autovalores.	19
5.9.6. Acuífero rectangular homogéneo conectado por uno de sus lados con un río totalmente penetrante.....	21
5.9.7. Acuífero rectangular homogéneo conectado por dos de sus lados contiguos con ríos totalmente penetrantes.....	25
5.9.8. Acuífero de tres niveles.	28
5.9.9. Cuadro resumen de acciones elementales para los distintos tipos de acuífero	31
5.9.10. Cuadro resumen de parámetros de control para los distintos tipos de acuífero	32
5.10. RECARGAS ARTIFICIALES Y BOMBEO ADICIONALES.	33
5.11. INDICADORES DE ALARMA.....	33
6. GESTIÓN DEL SISTEMA DE RECURSOS HIDRÁULICO	36
6.1. FUNCIÓN OBJETIVO.....	36
6.1.1. Contribución a la función objetivo de los elementos embalse.....	37
6.1.2. Contribución a la función objetivo de las conducciones de tipo 1.....	37
6.1.3. Contribución a la función objetivo de las conducciones de tipo 2.....	38
6.1.4. Contribución a la función objetivo de las conducciones de tipo 3.....	39
6.1.5.- Contribución a la función objetivo de las conducciones de tipo 4.....	39
6.1.6.- Contribución a la función objetivo de las conducciones de tipo 5.....	40
6.1.7. Contribución a la función objetivo de las demandas de uso consuntivo.	41
6.1.8.- Contribución a la función objetivo de las demandas no consuntivas.....	42
6.1.9. Contribución a la función objetivo de los elementos de recarga.....	43
6.1.10. Contribución a la función objetivo de los bombeos adicionales.....	43
6.2. EXPLICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL SISTEMA COMO CONSECUENCIA DE LA FUNCIÓN OBJETIVO.....	44

6.3. GRUPOS ISOPRIORITARIOS.....	46
7. PREPARACIÓN DE LOS ARCHIVOS DE DATOS	48
7.1. ARCHIVO DE DATOS PARA LECTURA Y ESCRITURA	48
7.2. ARCHIVO DE DATOS FÍSICOS Y DE GESTIÓN	50
7.3. ARCHIVO DE DATOS PARA GRÁFICOS.....	69
7.4. ARCHIVO DE DATOS DE APORTACIONES.	71
7.5. ARCHIVO DE DATOS DE EVAPORACIONES.	72
7.6. ARCHIVO DE DATOS DE COSTOS FICTICIOS.	72
7.7. ARCHIVO PARA MODIFICAR DATOS CONTENIDOS EN EL ARCHIVO DE DATOS FÍSICOS.....	74
<i>Datos de indicadores de alarma-restricción.</i>	74
<i>Datos de demandas variables.</i>	75
8. RESULTADOS.	76
8.1. ARCHIVOS PARA ESCRITURA.	76
8.2. ARCHIVOS DE RESULTADOS ORDENADOS PARA HOJAS DE CÁLCULO.....	79
8.3. ARCHIVO DE RESULTADOS ETIQUETADOS PARA GRÁFICOS.	89
<i>Etiquetas de datos.</i>	89
<i>Ejemplo. 92</i>	
8.4. ARCHIVO PARA CÁLCULOS POSTERIORES DE BALANCES.....	93
9. MENSAJES DE ERROR	97
10. INSTALACIÓN DEL MODELO	100
11. REFERENCIAS.	100

1. INTRODUCCIÓN

El modelo **SIMGES** es un modelo general para la Simulación de la Gestión de Cuencas, o sistemas de recursos hidráulicos complejos, en los que se dispone de elementos de regulación o almacenamiento tanto superficiales como subterráneos, de captación, de transporte, de utilización y/o consumo, y de dispositivos de recarga artificial.

El modelo admite cualquier configuración dentro de unos límites impuestos únicamente por capacidades de hardware, y por tanto es utilizable para cualquier esquema de recursos hidráulicos.

La simulación se efectúa a nivel mensual y reproduce a la escala de detalle espacial que el usuario desee el flujo del agua a través del sistema. Para los subsistemas superficiales el flujo es calculado simplemente por continuidad o balance, mientras que para los subsistemas subterráneos o acuíferos el flujo es simulado mediante modelos de celda, uní o pluricelulares, según convenga, o incluso mediante modelos distribuidos de flujo lineal. Se tiene asimismo en cuenta en la simulación las pérdidas por evaporación y filtración en embalses y cauces, así como las relaciones entre aguas superficiales y aguas subterráneas.

La gestión de los recursos hidráulicos se efectúa mediante reglas de operación tendentes a mantener un nivel similar de llenado en los embalses a partir de unas curvas de zonado de embalse. Dichas curvas son las reglas de explotación propiamente dichas y son suministradas por el usuario del modelo. Se admite la definición de caudales mínimos ecológicos, así como de diferentes prioridades de los usuarios para el aprovechamiento del agua.

La simulación y gestión del sistema superficial se efectúan a un tiempo mediante el uso de un algoritmo de optimización de redes de flujo conservativo. Dicho algoritmo se encarga de determinar el flujo en el sistema tratando de satisfacer al máximo los objetivos múltiples de minimización de déficits, y de máxima adaptación a las curvas de volúmenes objetivo de embalse y objetivos de producción hidroeléctrica.

Los resultados del modelo incluyen la evolución de todas las variables de interés a nivel mensual, a nivel anual, valores medios del período de simulación, así como garantías. Todo ello permite que el modelo pueda ser utilizado, entre otras finalidades para:

- Determinar las garantías que se obtienen para distintas hipótesis de infraestructura y de evolución de demandas, así como para distintas reglas de explotación de la cuenca.
- Determinación de reglas de explotación más adecuadas para unos niveles exigidos de garantías.
- Determinación de beneficios o perjuicios derivados de la alteración de prioridades de usos del agua.
- Determinación de capacidades de embalse, de conducciones, y de instalaciones de bombeo para unos niveles de demanda y de garantía dados

2. ELEMENTOS CONSIDERADOS

La definición de unos elementos tipo, que son combinados por el usuario de diferentes formas, permite la adaptación del modelo a cualquier esquema. Los elementos considerados son:

- **Embalses** (superficiales), con su aportación intercuenca incluida. Quedan definidos mediante sus parámetros físicos, sus parámetros de gestión (volúmenes máximos, volúmenes objetivos, y prioridad de almacenamientos con respecto a otros embalses).
- **Aportaciones intermedias.** Se consideran como tales aquellas que no puedan ser consideradas o no convenga sean consideradas directamente como entradas de embalse.
- **Conducciones.** Se contempla bajo esta misma denominación a los tramos de río, canales, y cualquier otra conexión que convenga establecer. Quedan definidas por sus parámetros físicos (incluyendo capacidades máximas), y por sus posibles caudales mínimos (normalmente ecológicos). Se distingue en este grupo de conducciones tres tipos:
 - **Tipo 1:** Responden básicamente a la definición del párrafo anterior.
 - **Tipo 2:** Contemplan pérdidas por filtración en el cauce.
 - **Tipo 3:** Contemplan conexión hidráulica entre el río y un acuífero subyacente, y por tanto flujo del acuífero al río y viceversa, en función del estado del acuífero.
 - **Tipo 4:** Responden a la definición del tipo 1 con caudal máximo instantáneo función de la diferencia de cota entre la entrada y la salida de la conducción. Si en su origen o final se tiene un embalse, se considera la variación de cota a efectos de determinar el máximo que puede circular a lo largo del mes.
 - **Tipo 5:** Se trata de conexiones hidráulicas entre nudos y/o embalses, para las que el caudal circulante es función de la diferencia de cota entre su extremos. La circulación de agua puede tener lugar en ambos sentidos y se considera la variación de cota que pueda tenerse en los embalses a lo largo del mes.
- **Demandas consuntivas.** Son aquellos elementos que utilizan el agua y en los que parte de ella es consumida y por tanto se pierde para el sistema. Quedan incluidas dentro de este tipo tanto las zonas regables como las demandas urbanas e industriales. Se definen por su curva de demanda, sus parámetros de consumo, sus tomas y su conexión con algún elemento de retorno. Se admite el suministro a una misma demanda desde distintas fuentes.

-
- **Elementos de retorno.** Son simplemente definiciones de puntos de reintegro de agua al sistema provenientes de demandas consuntivas.
 - **Demandas no consuntivas** (centrales hidroeléctricas). Son aquellos elementos que utilizan el agua sin consumirla. Se definen mediante sus datos físicos y de producción y por su caudal mensual objetivo a utilizar.
 - **Recarga artificial.** Son elementos cuyo flujo va a recargar acuíferos, utilizándose para tal fin los sobrantes. Se definen por sus características físicas.
 - **Bombes adicionales.** Son elementos de captación de agua procedente de acuíferos que es incorporada al sistema superficial para su utilización en lugar distinto de la zona donde se efectúa el bombeo.
 - **Acuíferos.** Quedan definidos mediante sus parámetros físicos y mediante unos parámetros de explotación, que una vez rebasados anulan las extracciones. El modelo permite contemplar varios tipos de acuíferos:
 - Acuífero depósito.
 - Acuífero unicelular.
 - Acuífero con manantial.
 - Acuífero pluricelular.
 - Acuífero conectado con río y con modelación distribuida por el método de los autovalores
 - Acuífero rectangular homogéneo conectado por uno de sus lados con un río totalmente penetrante
 - Acuífero rectangular homogéneo conectado por dos de sus lados contiguos con ríos totalmente penetrantes
 - Acuífero con desagüe a tres niveles distintos: se trata de un modelo simplificado que permite considerar la conexión con dos niveles distintos de aguas superficiales y la evapotranspiración variable a lo largo del año.
 - Acuífero modelado por el método de los autovalores sin limitaciones de geometría ni parámetros hidrodinámicos.

3. ESQUEMA DEL USUARIO

Para la utilización del modelo el usuario debe, en primer lugar, confeccionar un esquema de la cuenca o sistema adaptándose al uso de los elementos tipo arriba descritos. Para ello, definirá una serie de nudos en el sistema hidráulico de superficie, estando localizados los nudos en cada uno de los siguientes puntos:

- Embalses.
- Puntos de unión de dos o más cauces o conducciones.
- Puntos de derivación o partición de caudal.
- Puntos de toma y de retorno de las distintas demandas.
- Puntos donde se supone se incorporan las posibles aportaciones intermedias o los posibles bombeos adicionales.
- Puntos de cambio de las características de las conducciones.

A continuación definirá las conexiones (conducciones) que existan entre los nudos, así como el tipo al que pertenecen.

Seguidamente situará las aportaciones intermedias que puedan llegar a algún nudo o embalse (si no se definen asociadas al propio embalse).

A continuación situará las demandas, localizando sus nudos de toma y sus nudos de retorno (elementos), e identificando los acuíferos de los que puedan bombear y los que reciben los retornos por infiltración.

A continuación, identificará los nudos de donde parten los flujos destinados a recarga artificial y aquellos donde se incorporan los bombeos adicionales.

Por último, definirá los criterios de restricción para las situaciones de alarma del sistema. Estos indicadores de alarma, pueden asociarse a tomas de demandas o a conducciones tipo 1.

La definición del esquema hidráulico del sistema queda completa al suministrar el usuario al modelo, además de otros datos de cada elemento, su conexión con los nudos previamente definidos.

4. BREVE EXPLICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO INTERNO DEL MODELO

Como ya se ha dicho, la simulación y gestión del subsistema superficial se van a resolver simultáneamente mediante el uso de un algoritmo de optimización de redes de flujo conservativo.

El "esquema del usuario" confeccionado en la manera arriba esbozada constituye una red de flujo. Pero dicha red no cumple el requisito de ser conservativa, pues no es cerrada y hay nudos en los que hay almacenamiento (los correspondientes a los embalses). Por tanto, la primera tarea del modelo después de la lectura de datos es la adaptación del esquema del usuario como una red de flujo conservativo. Para ello es necesario, por una parte, el establecimiento de unos nudos de "cierre" de la red, y por otra, el desdoblamiento de cada elemento tipo en un subesquema de arcos y nudos tal que aseguren que la simulación del comportamiento hidráulico y de gestión del elemento es adecuada. El resultado es una "red de flujo interna", mucho más compleja que la del usuario, que ya es conservativa, y que es la que manejará el modelo sin trascendencia exterior al usuario.

Una vez confeccionada dicha red interna, se entra en la dinámica de la simulación, en la que para cada mes del período de simulación se resuelve la red de flujo con los valores de aportaciones, demandas, y parámetros de gestión correspondientes a ese mes, se simulan los acuíferos, se itera entre estos dos últimos pasos (debido a las no linealidades y a las relaciones río-acuífero), y se almacenan valores para su escritura anual y estadísticas. Finalmente, una vez terminado el período de simulación, se procede a la confección de estadísticas, y cálculos de garantías.

5. DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS CONSIDERADOS

A continuación se describen los distintos elementos considerados para su posible inclusión en el esquema de la cuenca. Al mismo tiempo se definen los datos necesarios para su definición física así como la participación del elemento en la gestión del sistema y los parámetros de gestión necesarios para definirla más concretamente.

5.1. Nudos.

Aunque los nudos no son considerados como elementos propiamente dichos, es importante el tener en cuenta su necesidad y utilidad a la hora de definir el esquema conceptual que ha de suministrarse al modelo. El concepto de nudo se corresponde con el de un punto significativo que conviene localizar dentro del esquema. Esto será debido a que en ese punto ocurra alguna de las siguientes situaciones:

- que confluyan y/o partan de él distintos tramos de río o conducciones,
- que exista un embalse,
- que se incorpore en ese punto una aportación, o un retorno, o un bombeo adicional,
- que salga de ese punto un flujo destinado a recarga artificial, o exista una toma para alguna demanda, o
- que sea un punto de cambio de las características de un río o de una conducción.

Para identificar los distintos nudos es necesario que el usuario los numere en su esquema, lo cual puede ser hecho sin necesidad de seguir ningún criterio determinado o más bien con el criterio que resulte más cómodo al usuario.

La única limitación es que se definirá un nudo al cual irán a parar todos los flujos que salgan o escapen del sistema (esto es, que no se incorporen al mismo) y al que se asignará el número 0.

Hay que advertir que **no constituyen nudos ni los elementos de demanda ni los acuíferos**. Los indicadores de alarma tampoco tienen ninguna representación directa en el esquema.

5.2. Conexiones.

Una vez definidos los nudos de esa forma, para definir el esquema hidráulico es necesario definir las conexiones que existen entre nudos, utilizándose estos últimos para localizar físicamente dichas conexiones.

Las conexiones o conducciones son siempre orientadas, es decir, que el agua fluye por ellas siempre en un sentido, desde el nudo definido como "**nudo inicial**" al nudo definido como

"**nudo final**". Con los números correspondientes a dichos nudos queda definida la conducción dentro del sistema.

Además, se considera para las conducciones tipo 1 un "**caudal máximo mensual**", que puede ser distinto para cada mes, y análogamente un "**caudal mínimo mensual**".

En la simulación de la gestión el modelo no violará nunca los caudales máximos, de forma que es necesario tener especial cuidado si se define algún caudal máximo para conducciones que sean naturales (tramos de río), pues si éste es reducido puede dar lugar a que físicamente sea imposible el respetar el caudal máximo, **pudiendo producir un error fatal en la ejecución del modelo**.

En cambio los caudales mínimos son tomados no como limitaciones físicas, sino como limitaciones de gestión, y el modelo tratará de respetarlos dentro de las prioridades establecidas, pero si no fuera posible y el caudal mínimo hubiera de ser violado, se hará así sin que ello suponga ningún contratiempo en la ejecución del modelo.

Se han distinguido cinco tipos diferentes de conducciones. A continuación se define cada una de ellas, así como su funcionamiento:

- "Conducción simple": Es aquella que se corresponde con la descripción que se acaba de efectuar, y con los datos mencionados queda perfectamente definida. Se la denomina también "conducción de tipo 1" o "tramo de río tipo 1" (TR1). Por motivo de funcionamiento interno del programa no está previsto el que haya más de un TR1 con los mismos nudos inicial y final, ni con el inicial y final intercambiado.

Las conducciones TR1 permiten la asignación de un coste del flujo arbitrario o "coste de usuario" que permite alterar arbitrariamente la asignación del agua. Para definir este coste de usuario consulte el apartado 6.1.2. sobre contribución a la función objetivo de las conducciones TR1. También se puede definir como "coste unidad o by-pass" para hacer que el caudal pase por la otra conducción cuando se disponga de dos caminos de igual coste.

Las conducciones de tipo 1, pueden llevar asociado un Indicador de Alarma (descritos más adelante en éste Manual), cuya función es reducir la capacidad máxima en aquellos meses en que el volumen embalsado en determinados grupos de embalses del Sistema sea reducido. Opcionalmente se puede asignar este Indicador de Alarma bien al caudal máximo mensual o bien a la dotación anual de la conducción (si esta está limitada).

- "Conducción con filtraciones": Es aquella conducción que además presenta la característica de que al circular el agua por ella se producen pérdidas. Se considera que las pérdidas, P, son función del caudal circulante, Q, a la entrada del tramo, con la siguiente ley:

$$P=a+b Q^c \quad (5.1)$$

siendo **a**, **b** y **c** parámetros suministrados por el usuario y requeridos por el modelo.

A efectos de incorporar las filtraciones a algún acuífero, será necesario definir las acciones exteriores unitarias que se consideran para ese acuífero (acciones elementales, que se describen en el apartado 5.9. sobre acuíferos) e identificar la que corresponde a la recarga causada por las filtraciones de la conducción.

A estas conducciones se las ha denominado también "conducciones de tipo 2" o "tramos de río tipo 2" (TR2).

- "Conducción conectada hidráulicamente con acuífero": Es aquella conducción cuyo lecho atraviesa un acuífero existiendo conexión hidráulica entre los dos, y por tanto la posibilidad tanto de filtraciones de lecho hacia el acuífero como drenaje del acuífero hacia el río, dependiendo de la situación de niveles piezométricos del acuífero. Será por tanto necesario definir qué acuífero es el que está conectado con la conducción, e identificar, de entre las respuestas de simulación del acuífero (parámetros de control) cual es aquella que cuantifica el flujo entre los dos (esta cuestión se trata en 5.9).

A estas conducciones se las ha denominado también "tramo de río tipo 3" (TR3).

- "Conducción limitada hidráulicamente por la diferencia de cotas de agua entre sus extremos": Su definición es básicamente la de una conducción simple (TR1), pero tiene la limitación de que el caudal máximo instantáneo que puede circular es función de la diferencia de cotas de agua entre el nudo inicial y el final. Con este tipo de conducción se pueden reproducir situaciones como la de una conducción con origen en un embalse, a una cierta cota, de tal manera que el máximo caudal que puede derivarse está limitado por la altura de la lámina de agua. El usuario deberá definir además de los datos mencionados para las conducciones simples (TR1) la curva que relaciona los caudales máximos instantáneos con la diferencia de cota. Esta diferencia de cota puede ser variable en un mes dado de la simulación si en uno de sus extremos se tiene un embalse. En dicho caso el caudal máximo se obtiene por integración con la hipótesis de que la diferencia de cota varía linealmente durante el mes.

A estas conducciones se las ha denominado también "conducciones tipo 4" (TR4).

- "Conexión hidráulica entre nudos y/o embalses": Es una conducción en que el flujo de agua instantáneo únicamente está determinado por la diferencia de cota entre sus extremos, sin que pueda ser regulado. El agua puede circular en ambos sentidos. Este tipo de conducción puede presentarse como conexión entre dos embalses. El usuario deberá definir además de los nudos inicial y final, la curva que relaciona los

caudales instantáneos con la diferencia de cota. El caudal en un mes se determina por integración suponiendo variación lineal de la diferencia de cota en el mes.

A estas conducciones se las ha denominado también "conducciones tipo 5" (TR5).

5.3. Aportaciones.

Se considera como aportaciones los flujos de agua que se incorporan al sistema. Es necesario definir un punto conceptual de incorporación que deberá ser un nudo de la red. Se ha distinguido entre aportaciones intermedias y aportaciones a embalse. Las primeras son las que se incorporan en nudos que no son embalse, y las segundas son las que puede considerarse que se incorporan al embalse. No obstante pueden situarse aportaciones intermedias sobre embalses.

El usuario debe de proporcionar los valores de aportaciones mensuales en un archivo específico de aportaciones, con tantas columnas como aportaciones se considere en el esquema. Entre los datos requeridos por el modelo figurará por tanto el número de la columna correspondiente a la aportación en cuestión. Dicho dato se solicita incluido en los datos de embalse en el caso de que se trate de una aportación a embalse.

5.4. Importaciones de agua.

Se trata de flujos de agua que se incorporan al sistema al igual que sucede con las aportaciones intermedias. La diferencia es que estas han sido incluidas para que sean alterables por el usuario en cada simulación. Por lo tanto van incluidas en el archivo de datos generales del modelo.

5.5. Embalses.

Los embalses superficiales, como es sabido, corresponden a puntos del esquema en los que existe capacidad de almacenamiento de agua. Son elementos básicos de la gestión. La simulación se efectúa simplemente por balance de masas, con lo que el volumen a final de mes, V_f , viene dado por la expresión (5.2).

$$V_f = V_i + A_e + A_a - P_f - E - S_c - S_v \quad (5.2)$$

donde:

- V_i es el volumen a principio de mes,
- A_e es la denominada aportación a embalse,
- A_a son las aportaciones de la parte del esquema aguas arriba del embalse,
- P_f son las pérdidas por filtración,
- E son las pérdidas por evaporación,

- S_c son las sueltas controladas, o sea aquellas que no sobrepasan la capacidad de desagüe del embalse, incluidas tomas dentro del vaso,
- S_v son los vertidos, o sea los desembalses producidos por superarse la capacidad máxima, y no caber por los dispositivos de desagüe controlables.

Para la aplicación de la fórmula (5.2) en el primer mes es necesario definir el volumen inicial del embalse al comienzo de la simulación.

Para el cálculo de las pérdidas por filtración se considera una ley del tipo:

$$P = a + bV^c \quad (5.3)$$

donde P y V son las pérdidas y volumen instantáneos, y a , b y c son parámetros suministrados por el usuario y requeridos por el modelo. La integración lineal de la ecuación (5.3) para un período (un mes) nos da la ecuación utilizada siguiente:

$$P_f = a + \frac{b}{(c+1)(V_f - V_i)} (V_f^{c+1} - V_i^{c+1}) \quad (5.4)$$

con unidades de P en fórmula (5.3) de Hm^3/mes y V , V_f y V_i en Hm^3 .

Para el cálculo de las pérdidas por evaporación se aplica la fórmula:

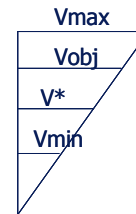
$$E = \frac{S_f + S_i}{2} e \cdot 10^{-5} \quad (5.5)$$

donde S_f y S_i son las superficies, en Ha, de la lámina de embalse correspondientes al volumen final e inicial, respectivamente, y e es el dato de evaporación en mm.

Para que se produzcan vertidos es necesario que el agua embalsada supere el "volumen máximo", V_{max} , definido para cada mes y que el sobrante no quepa por los dispositivos de desagüe controlables, dicha capacidad máxima se ha supuesto variable mensualmente para poder definir los resguardos para avenidas. Si los vertidos no son aprovechables puede definirse como nudo de aprovechamiento el final del sistema. Téngase también en cuenta que el modelo requiere un dato de caudal máximo de sueltas controladas (S_c) y si las demandas que ha de servir el embalse superan este valor, el modelo no será capaz de servir toda la demanda desde este embalse a pesar de tener reservas utilizables.

La gestión de los embalses de la cuenca se realiza de forma que se mantengan todos ellos en la medida de lo posible dentro de una misma zona de llenado. Para la definición de las zonas de llenado se ha recurrido en principio a la definición por parte del usuario de un "Volumen objetivo mensual", V_{obj} , y de un "Volumen mínimo mensual", V_{min} , quedando las zonas definidas automáticamente como sigue:

- Zona superior: entre V_{max} y V_{obj}
- Zona intermedia: entre V_{obj} y $V^* = \frac{1}{2}(V_{obj} + V_{min})$
- Zona inferior: entre V^* y V_{min}
- Zona de reserva: entre V_{min} y embalse vacío.



También se define un "número de prioridad de almacenamiento" en embalse, N_p , para cada embalse.

De esta forma, el modelo no utilizará agua de la zona intermedia de un embalse hasta que no haya agotado el agua de la zona superior de todos los demás. Y entre dos embalses en la misma zona tomará agua primero de aquel que tenga el valor del número de prioridad de almacenamiento más alto.

Cuando un embalse se halle en la zona de reserva para meses siguientes no le estará permitido desembalsar ningún volumen de agua (Ver excepciones en apartado 6.2).

El esquema de gestión descrito es un esquema de reconocida eficacia (Hisch et al., 1977; Loucks y Sigvaldason, 1979) y es suficientemente flexible como para que el usuario pueda evaluar diferentes estrategias de gestión superficial y de gestión conjunta con los recursos subterráneos mediante el manejo de los V_{obj} y V_{min} definidos anteriormente.

5.6. Demandas consuntivas.

Quedan incluidas bajo esta denominación aquellas entidades que utilizan el agua de forma que parte de ella es consumida y no vuelve a ser incorporada al sistema, constituyendo una pérdida para el mismo. Engloba este concepto tanto a zonas regables como zonas de abastecimiento municipal e industrial.

Para la definición de las demandas consuntivas es necesario indicar valores de **demanda mensual** correspondiente a la zona, y que se corresponde con el agua que, si fuera posible, aplicaría al uso correspondiente.

Para satisfacer esa demanda mensual es necesario definir una o varias "tomas" del sistema superficial. El concepto de "toma" se corresponde en principio a distintas procedencias de aguas, pero también puede ser utilizado a efectos de gestión para distinguir prioridades aunque el agua proceda del mismo punto, o incluso a suministros de distintas subzonas dentro de la zona considerada. Esta versatilidad se consigue al definir para cada toma, además del "nudo de toma", un valor de "dotación anual", superado el cual no se utiliza dicha toma hasta el siguiente año hidrológico; valores de "puntas mensuales", diferentes, si se quiere, para cada mes y "números de prioridad" de cada toma, y que guardan relación con los números de prioridad de las tomas del resto de las zonas de la demanda. Asimismo, a efectos de simular la posterior evolución del

agua utilizada, es necesario definir para cada toma dos coeficientes: un coeficiente de retorno, α y un coeficiente de consumo, β . Con ello, el agua que vuelve al sistema en forma de retorno superficial es:

$$R = \alpha \times S_{sup} \quad (5.6)$$

siendo S_{sup} el suministro superficial de la toma. Para contabilizar adecuadamente dicho retorno es necesario definir para cada toma el número del "elemento de retorno" al que se incorporan dichos volúmenes R .

El agua que es consumida, y por tanto perdida al exterior del sistema viene dada por:

$$X = \beta \times S_{sup} \quad (5.7)$$

El resto, se considera que constituye infiltración profunda y viene dado por:

$$I = (1 - \alpha - \beta) \times S_{sup} \quad (5.8)$$

esta cantidad pasa a engrosar la recarga del acuífero subyacente. Para que ésta sea contabilizada adecuadamente es necesario que el usuario facilite al modelo los datos del "número de acuífero subyacente" y "acción elemental" correspondiente a la recarga producida por infiltración de la zona.

En el caso de que el suministro superficial sea insuficiente, el resto de la demanda puede ser satisfecho mediante bombeos de un acuífero, que no tiene necesariamente que coincidir con el mismo acuífero al que las infiltraciones de la zona recargan. Por tanto es necesario facilitar el "número del acuífero del que la zona puede bombear", así como el "número de la acción elemental" correspondiente a dicho bombeo. La decisión del bombeo viene además considerada por el estado del acuífero para lo cuál el usuario define el valor de un parámetro de control dado, a partir del cuál no se presente bombeos, Los parámetros de control se definen mas adelante de el apartado de acuíferos. El suministro desde acuífero se considera suministro neto, por tanto no genera retorno superficial ni subterráneo. Para simular un suministro bruto deberá utilizar un elemento tipo "bombeo adicional" unido a una toma superficial.

El suministro superficial por una determinada toma puede estar limitado además por otras condiciones físicas y/o de gestión:

- En el caso de las tomas conectadas a embalses se da como dato la cota a la cual se encuentra conectada esta. Así, solo puede derivarse agua por la toma cuando la lamina de agua en el embalse se encuentra por encima de la cota de la toma. Cuando a principio de mes la cota de agua en el embalse esta por encima de la de la toma y a fin de mes se encuentra por debajo, el volumen que puede suministrarse se calcula por integración descontadas las restantes sueltas del embalse y sus perdidas. En realidad, la situación de intento de satisfacción de múltiples objetivos desde un

embalse dado, se resuelve a través de las iteraciones que se llevan a cabo en cada mes de la simulación.

- Cada toma de cada demanda consuntiva puede llevar asociada un indicador de alarma del sistema. Estos indicadores, que se definen mas adelante en este manual, suponen la reducción de la punta mensual de la toma (o de la dotación anual) cuando el volumen de agua almacenado en un determinado grupo de embalses se encuentra por debajo de ciertos umbrales definidos por el usuario. Se trata pues de una forma de restringir el consumo cuando la reserva hidráulica es inferior a lo normal.
- Si el indicador de alarma se asocia a la demanda, este se interpretará no como una restricción sino como un ahorro. Por lo tanto las reducciones aquí asignadas modificarán el valor de la demanda con el consiguiente cambio en el cálculo de garantías. Una reducción de demanda por ahorro no se considera fallo al calcular garantías.

5.7.Elementos de retorno.

La definición de este elemento es puramente funcional, pues hubiera sido posible simplemente definir un número de nudo donde se incorporan los retornos superficiales de las distintas tomas. Pero, para beneficio de los requisitos de tiempo de ejecución y de capacidad de memoria requerida se ha preferido definir los elementos de retorno, y que cada uno de ellos pudiera ser usado por una o más tomas de la misma o diferentes zonas.

Para definir el elemento de retorno simplemente es necesario suministrar al modelo el número del nudo donde se supone se incorporan los caudales correspondiente. Es posible definir varios elementos de retorno conectados a un mismo nudo o embalse.

5.8.Centrales hidroeléctricas.

Son demandas no consuntivas, o sea que utilizan el agua y la reintegran durante el mismo período de tiempo sin consumir ninguna cantidad apreciable de ella. Como quiera que prácticamente el único caso de este tipo de demandas lo constituyen las centrales hidroeléctricas, se ha preferido utilizar este último nombre.

Para definir las es necesario definir el nudo de toma y el nudo de reintegro. Asimismo, se definen un "caudal máximo" (potencia máxima en el caso de centrales a pie de presa) y unos valores de "caudal objetivo mensual" que pueden ser diferentes para cada mes y un "número de prioridad".

El modelo tratará de satisfacer el caudal objetivo siempre que para ello no haya de vulnerar la prioridad de alguna otra demanda (con número de prioridad menor).

El cálculo de la producción de energía se realiza mediante el uso del salto bruto y de un coeficiente global de eficiencia. En el caso de una central a pie de presa el modelo calcula previamente el salto bruto mediante el uso de las curvas cota-volumen correspondiente al embalse. La energía producida en un mes se da como:

$$E = H_m \cdot \mu \cdot V_T \quad (5.9)$$

donde H_m es el salto bruto medio. En caso de central a pie de presa se calcula como:

$$H_m = \frac{H(V_{i-1}) + H(V_i)}{2} - H_c \quad (5.10)$$

donde:

- $H(V_i)$ es la cota correspondiente al embalse para un volumen $V_i(m)$
- μ es el coeficiente global de eficiencia ($Gw.h/Hm^3 \cdot m$) se calcula como el producto del coeficiente adimensional de eficiencia global por 0.0027222
- V_T es el volumen total de agua turbinado (Hm^3)
- H_c es la cota a descontar para el cálculo de producción hidroeléctrica (m)

Es posible definir para una central hidroeléctrica el caudal mínimo de turbinado. Teniendo en cuenta que el modelo trabaja a escala mensual, normalmente será mejor dar para este dato un valor nulo, pues es más que probable que algún elemento de regulación permita que dentro del mes se concentre el volumen turbinado en un tiempo que dé el caudal mínimo real de la central.

Así mismo, puede definirse para una central a pie de presa una cota mínima de la lámina de agua en el embalse para permitir el turbinado. En caso de que en un mes la cota media de agua en el embalse sea menor que dicha cota mínima, se anula el turbinado.

De manera similar a las tomas de demanda consuntiva, una central hidroeléctrica puede llevar asociada un indicador de alarma del sistema. Estos indicadores, que se definen mas adelante en este manual, suponen la reducción del caudal objetivo mensual de la central cuando el volumen de agua almacenado en un determinado grupo de embalses se encuentra por debajo de ciertos umbrales definidos por el usuario. Se trata pues de una forma de restringir las sueltas para producción hidroeléctrica cuando la reserva hidráulica es inferior a lo normal.

5.9. Acuíferos.

Los acuíferos son elementos del sistema, que están conectados con el resto del mismo mediante las acciones que este pueda ejercer sobre ellos, la mayor parte de dichas acciones han sido descritas anteriormente: filtraciones de embalses y tramos de río, conexión río-acuífero, infiltración profunda de zonas de riego y bombeos de las mismas; y otras no descritas todavía: la recarga artificial y bombeos adicionales, que lo serán más adelante.

Conviene aclarar previamente dos conceptos que van a ser utilizados a lo largo de la exposición y en las entradas de datos del modelo: las acciones elementales y los parámetros de control.

Por **acción elemental** se entiende una acción o conjunto de acciones que se ejercen sobre el acuífero y que puede variar en intensidad a lo largo de la ejecución del modelo. Por ejemplo, es una acción elemental un bombeo en un pozo, mientras que el caudal bombeado en cada mes es su intensidad. Asimismo es acción elemental el bombeo en varios pozos de una zona siempre que el reparto del bombeo total entre ellos pueda suponerse fijo, siendo la intensidad de la acción el valor del bombeo total en un mes. Los acuíferos modelados como agregados sólo admitirán una acción elemental, que es la recarga (positiva o negativa) pues en ellos es inútil el distinguir su localización. En cambio, los acuíferos modelados como distribuidos admitirán varias acciones elementales.

Por **parámetro de control** se entiende cualquier respuesta del acuífero que interese conocer. Por ejemplo, el nivel en una celda, el volumen total en el acuífero, la relación río-acuífero. Los parámetros de control se utilizan como criterio para la definición de las reglas de operación para la explotación de acuíferos. Se puede impedir el bombeo cuando un parámetro de control dado alcance un valor inferior a un umbral dado.

El modelo admite varios tipos conceptuales de acuíferos que se describen a continuación.

5.9.1. *Acuífero Depósito.*

Corresponde al caso en que el acuífero no está conectado hidráulicamente con el sistema superficial y únicamente interesa conocer un parámetro de indicación de su estado de llenado y vaciado. Este parámetro es el volumen almacenado. Los datos a aportar son el volumen inicial y la recarga natural del acuífero. El modelo utilizado es:

$$V_n = V_{n-1} + R_n + R_{LL} \quad (5.11)$$

El volumen a final de mes, V_n , es la suma del volumen a final de mes anterior (o inicial) V_{n-1} , la recarga en el mes, R_n , y la recarga natural R_{LL} que se incluye mediante 12 datos de recarga media mensual.

Este modelo de acuífero, sólo admite una acción elemental que es la recarga neta (acción elemental no.1) y un parámetro de control, que es el volumen almacenado (parámetro de control número 1).

5.9.2. *Acuífero Unicelular.*

Corresponde al caso de un acuífero conectado hidráulicamente con el sistema superficial, con un coeficiente de desagüe, α . Como puede demostrarse (Andreu, 1983) las ecuaciones que resultan son:

$$V_n = V_{n-1}e^{-\alpha} + \frac{R_n}{\alpha}(1 - e^{-\alpha}) \quad (5.12)$$

$$Q_n = \alpha V_n = Q_{n-1}e^{-\alpha} + R_n(1 - e^{-\alpha}) \quad (5.13)$$

La primera ecuación da el volumen a final de mes V_n en función del volumen final del mes anterior (o inicial), V_{n-1} , el coeficiente de desagüe α , y la recarga en el mes R_n .

La segunda ecuación da el caudal de relación río acuífero Q_n en función del caudal en el mes anterior y demás factores ya explicados.

Los datos que habrá que procurar son pues el valor de α y el de V_o (volumen inicial).

Si damos $V_o=0$ y los valores de R_n son solamente los de las recargas netas de riego estamos actuando por superposición, con lo que los valores de Q_n son las afecciones al caudal natural de los ríos. Esta es la forma en que se actúa en el modelo **SIMGES**.

Este modelo de acuífero sólo admite una acción elemental, que es la recarga neta (acción elemental no.1). Proporciona dos parámetros de control. El parámetro de control no.1 es el volumen V_n y el parámetro de control no.2 es el caudal de relación con el río. Si este es positivo es del acuífero al río, y si es negativo es del río al acuífero.

5.9.3. *Acuífero con manantial.*

Se denomina así al acuífero cuya relación con el sistema superficial es tal que este último recoge el drenaje del primero, normalmente por manantiales.

Para la simulación de estos acuíferos se utiliza un modelo agregado, en el que es necesario dar el valor del coeficiente de desagüe α , el de los caudales aforados históricos del manantial con régimen natural, Q_a , y el del volumen inicial del acuífero V_{n-1} (Véase Sahuquillo, 1983).

El volumen a fin de mes del manantial viene dado por:

$$V_n = (V_{n-1} - V_{DET})e^{-\alpha} + \frac{RL_n}{\alpha}(1 - e^{-\alpha}) \quad (5.14)$$

donde RL_n es el valor de la recarga (o bombeo si el valor es negativo) lejos del manantial y V_{DET} es el volumen de detracción al río que no haya podido ser realizado el mes anterior.

El volumen total mensual de afección al río viene dado por:

$$Q_n = V_{n-1} - V_{DET} - V_n + RI_n + RC_n \quad (5.15)$$

como consecuencia de la integración de las fórmulas del caudal instantáneo desde tiempo t_{n-1} a t_n (1 mes) y RC_n es la recarga cerca del manantial.

El volumen total mensual desaguado por el manantial sería:

$$Q_m = Q_a + Q_n \quad (5.16)$$

Si Q_m es negativo entonces se modifican los valores consiguientemente:

$$V_n = V_n + Q_m \quad (5.17)$$

$$Q_m = 0. \quad (5.18)$$

$$Q_n = -Q_a \quad (5.19)$$

siendo entonces Q_n la afección a los caudales del río.

Nótese que estamos actuando por superposición al régimen natural, y por lo tanto, las series de aportaciones utilizadas en el modelo superficial serían las naturales, que serán modificadas dentro de la simulación por el valor de Q_n .

Se utilizan por tanto dos acciones elementales, la no. 1 es la recarga lejos del manantial y la no.2 es la recarga cerca del manantial. Al igual que en el caso del acuífero unicelular se tienen dos parámetros de control.

5.9.4. Acuífero pluricelular

Se denomina así al acuífero cuya relación con el sistema superficial se produce según una ley representada por varios coeficientes de descarga identificados como celdas.

Para la simulación de estos acuíferos se utiliza un modelo pluricelular englobado (A.Sauquillo, 1983), en el que es necesario dar el valor del coeficiente de desagüe α_i en cada celda, el de los coeficientes de reparto de cada acción elemental sobre cada una de las celdas $b_{i,j}$, y el del volumen inicial del acuífero V_i^{k-1} en cada celda.

El volumen a fin de mes en cada celda viene dado por:

$$V_i^k = V_i^{k-1} e^{-\alpha_i \Delta t} + \sum_j \frac{b_{i,j} R_j^k}{\alpha_i} (1 - e^{-\alpha_i \Delta t}) \quad (5.20)$$

donde R_j^k es el valor de la acción elemental j (recarga si es positivo o bombeo si el valor es negativo).

Para los caudales se tiene:

$$Q_i^n = Q_i^{n-1} e^{-\alpha_i \Delta t} + \sum_j b_{i,j} R_j^n (1 - e^{-\alpha_i \Delta t}) \quad (5.21)$$

El caudal de afección al manantial a final de cada mes viene dado por:

$$Q^n = \sum_i \alpha_i V_i^n \quad (5.22)$$

El volumen mensual de afección al manantial por cada celda viene dado por:

$$A_i^n = V_i^{n-1} - V_i^n + \sum_j b_{ij} R_j^n \quad (5.23)$$

El volumen total de afección al manantial es la suma de los volúmenes de afección de cada una de las celdas.

$$A^n = \sum_i A_i^n \quad (5.24)$$

En el caso de que este valor resulte negativo, se producirán las correspondientes detracciones de caudal de río (sobre la conducción de tipo 3 conectada con este acuífero). Cuando sucede que el río no dispone de caudal suficiente para que se produzca dicha detracción se generan las llamadas "detracciones imposibles". Estas detracciones imposibles se descuentan en el mes siguiente del volumen almacenado en la celda cuya relación con el río es más rápida (la que tiene un valor de α_i menor), para esta celda el valor de volumen a final de mes anterior se modifica de la siguiente forma.

$$V_{CR}^{n-1} = V_{CR}^{n-1} + DI \quad (5.25)$$

siendo CR el índice correspondiente a la celda más rápida y DI el valor de detracción imposible calculado para el mes $n-1$ (DI es negativo). Naturalmente, la ecuación 5.25 se aplica antes de la 5.20.

La utilización de este modelo puede realizarse para 3 situaciones de acuífero similares, pero con condiciones de contorno diferentes. Estos casos son, en primer lugar el modelo de acuífero

conectado con un río modelado por superposición al régimen natural; el segundo caso es el modelo con manantial modelado por superposición al régimen natural; y en tercer lugar el caso de un acuífero del que se dispone de datos de recarga por lluvia modelado completo.

1. Acuífero conectado con un río modelado por superposición al régimen natural.

Este es el caso en que el acuífero puede extraer agua del río con la única limitación del caudal disponible.

Para su modelación se ha de disponer una conducción de tipo 3 conectada con el modelo del acuífero aguas abajo de la incorporación al sistema superficial de las aportaciones en régimen natural que incluyen la aportación del acuífero.

2. Acuífero con manantial modelado por superposición al régimen natural.

La diferencia con el anterior es que el acuífero no puede extraer agua del río, sin embargo las aportaciones naturales del mismo están incluidas en la serie de aportaciones del río aguas abajo del manantial. En consecuencia es necesario limitar la extracción que el modelo puede producir al valor máximo de las aportaciones del manantial.

Para su modelación se dispondrá, al igual que en el caso anterior, una conducción de tipo 3 conectada con el modelo del acuífero aguas abajo de la incorporación al sistema superficial de las aportaciones en régimen natural que incluyen la aportación del acuífero. Pero esta conducción ha de tener su caudal máximo limitado por el valor de las aportaciones del manantial, de esta manera se limitan las extracciones de recursos superficiales al valor máximo de las salidas por manantial. Paralelamente, para permitir el paso de todo el caudal del río se incluirá una conducción tipo 1 con un coste by-pass para que solo lleve los caudales que superan la aportación del manantial.

3. Acuífero manantial con datos de recarga de lluvia modelado completo.

En este caso las aportaciones naturales del acuífero al río no están incluidas en la serie de aportaciones superficiales aguas abajo del manantial.

Para su modelación se incluirá en primer lugar un tramo de río con filtraciones separado del sistema superficial que recibe la serie temporal de valores mensuales de recarga de lluvia. Y en segundo lugar se ha de incluir una conducción de tipo 3 conectada al acuífero y con entradas superficiales nulas.

5.9.5. *Acuífero conectado con río con modelación con el método de los autovalores.*

Corresponde a aquellos acuíferos para los que se considera necesario un modelo de parámetros distribuidos, y consecuentemente, una localización detallada de las acciones que se ejercen sobre dichos acuíferos, así como de las respuestas del acuífero.

Se ha utilizado para la modelación el método de los autovalores, pues está demostrado (Andreu y Sahuquillo, 1987) que es el más eficiente para sistemas que puedan ser supuestos lineales, en los que interese conocer unas pocas respuestas (parámetros de control) y sobre los que se ejerzan unas pocas acciones que puedan ser descritas como combinaciones lineales de unas acciones unitarias predeterminadas (acciones elementales).

Para su utilización el usuario deberá familiarizarse con el método (Andreu y Sahuquillo, 1987). Los pasos a seguir son:

- a) Definición de las características hidrodinámicas del acuífero (transmisividades, coeficiente de almacenamiento), así como de su geometría y de las condiciones de contorno e iniciales.
- b) Confección de una malla de diferencias finitas o elementos finitos adaptada a la forma del acuífero y obtención del sistema de ecuaciones diferenciales cuyas incógnitas son las alturas en los nudos o bloques de la discretización.
- c) Obtención de los autovalores y autovectores correspondientes. Este paso puede ser realizado con cualquier paquete de subrutinas matemáticas.
- d) Definición de acciones elementales. Cada acción elemental es un vector con un valor no nulo en el elemento correspondiente a la celda donde actúa y un 0 en las demás. La suma de las componentes es la mitad.
- e) Definición de los parámetros de control (Un parámetro de control puede ser un nivel en una celda, una media de niveles, un volumen en una zona, un caudal a través de un segmento de frontera río-acuífero, etc.).
- f) Decisión en cuanto al número de autovalores a incluir, n_a . Esta posibilidad de no incluir todos los autovalores (truncamiento) es conveniente para disminuir el tiempo de cálculo (Andreu y Sahuquillo, 1986).
- g) Obtención de las matrices $[A^R]$, $[Q]$, $[P]$. La matriz $[A^R]$ es la denominada "matriz A reducida" (Andreu y Sahuquillo, 1987) y tiene una fila por cada parámetro de control. Será pues de $n_p \times n_a$ donde n_p es el número de parámetros de control. La matriz $[Q]$ es la matriz diagonal que contiene los autovalores, por lo tanto sólo los n_a elementos de la diagonal principal son distintos de cero. La matriz $[P]$ es la matriz de modificación de estado, de forma que las ecuaciones vectoriales que se utilizan en el modelo **SIMGES** son las siguientes:

$$\{c_n\} = [A^R] \{l_n\} \quad (5.26)$$

$$\{l_n\} = [e^{-\alpha \Delta t}] \{l_{n-1}\} + [\psi] \{B\} \quad (5.27)$$

donde $\{B\}$ es un vector que contiene las intensidades de las acciones elementales para el mes en cuestión, por lo tanto con n_e elementos (tantos como acciones elementales se haya definido). $\{l\}$ es el vector de estado del acuífero (Véase Andreu y Sahuquillo, 1987), que contiene n_a elementos. La matriz $[\psi]$ es por lo tanto de $n_a \times n_e$ elementos, con una columna por cada acción elemental.

Los datos necesarios para el modelo son:

- La matriz $[\alpha]$ (diagonal) o autovalores,
- El vector $\{l\}$ para el estado inicial, $\{l_0\}$,
- Las filas de la matriz $[A^R]$ (cada fila corresponde a un parámetro de control), y
- Las columnas de la matriz $[\psi]$ (cada columna corresponde a una acción elemental).

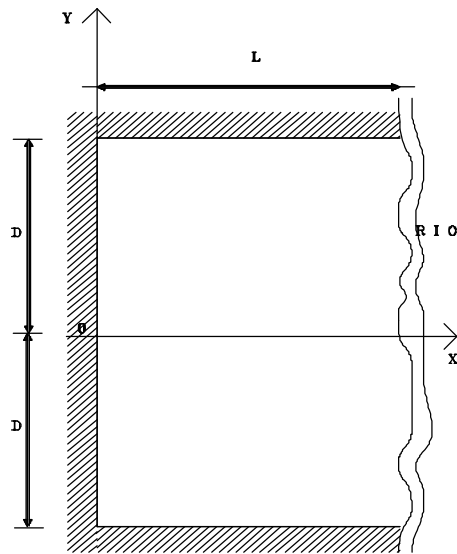
5.9.6. Acuífero rectangular homogéneo conectado por uno de sus lados con un río totalmente penetrante

Mediante este modelo se facilita la inclusión en el esquema de la simulación de una aproximación de acuíferos conectados con tramos de río considerándolos como de geometría rectangular y homogéneos.

Se trata de una aproximación que en muchos casos propone una fuerte simplificación de la realidad, pero que por otra parte permite tener en cuenta los efectos diferidos en la relación río-acuífero de forma más precisa que el modelo unicelular.

El modelo se basa en la solución analítica del caso expuesto en la figura y permite considerar distintas localizaciones espaciales de las acciones sobre el acuífero.

La solución de este problema viene dada por Sahuquillo (1981) y ha sido aplicada en la gestión conjunta de aguas superficiales y subterráneas por Marco y Andreu (1983).



El usuario ha de disponer de los datos siguientes:

- a) Parámetros hidrodinámicos: transmisividad T_X en dirección del eje X, transmisividad T_Y en dirección del eje Y y coeficiente de almacenamiento S .
- b) Geometría: longitudes D y L reflejadas en la figura anterior.
- c) Niveles iniciales en el acuífero: Con éstos ha de obtener 15 cantidades que constituyen una aproximación del estado inicial (vector de estado inicial) del acuífero y que se dan como datos al modelo. Para obtenerlos puede considerar los siguientes casos,
 - c.1) Se procede por superposición con el estado natural del acuífero: En este caso las 15 cantidades son ceros.
 - c.2) Se considera una distribución de alturas en el acuífero dada por una función $H(x,y)$.

Hay que calcular las siguientes cantidades,

$$l_0^n = \frac{S}{LD} \int_{x=0}^{x=L} H(x,y) \cos\left(\frac{(1+2n)\pi}{2L} x\right) dx dy \quad (n = 0, \dots, 14) \quad (5.28)$$

que consideradas en el orden dado por n constituyen el vector de estado inicial que hay que suministrar en la entrada de datos.

- d) Acciones elementales: Se consideran dos tipos de acción elemental,

d.1) Conjunto de acciones puntuales definidas cada una por su localización (x_k, y_k) y su peso p_k . La suma de los pesos para un grupo de acciones puntuales ha de valer la unidad, siendo todos positivos.

d.2) Acción distribuida en un rectángulo de lados paralelos a los ejes coordenados.

Viene definida por las coordenadas del centro del rectángulo (XG_k, YG_k) y las longitudes de los lados de dicho rectángulo (LX_k para el lado paralelo al eje X y LY_k para el paralelo al eje Y).

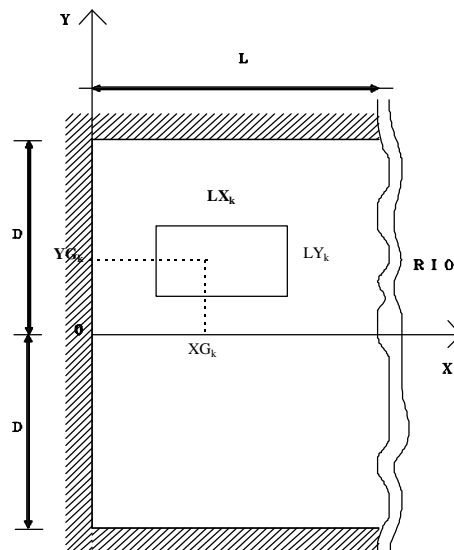
e) Parámetros de control: la simplicidad de la aproximación mediante este modelo analítico conduce a considerar los dos siguientes,

e.1) Volumen almacenado en el acuífero.

e.2) Relación río-acuífero por el borde $x=L$.

Puesto que el modelo **SIMGES** funciona por superposición, los parámetros anteriores se refieren en realidad a variaciones sobre la situación del régimen natural del sistema. Así si la situación histórica fuera de drenaje al río, éste estará incluido en las aportaciones al sistema que serían alteradas mediante detracciones al río (variaciones sobre el régimen natural)

Todos los cálculos necesarios para su determinación son realizados por el modelo de simulación sin ninguna trascendencia para el usuario.



La simulación del acuífero es llevada a cabo según un esquema idéntico al del método de los autovalores descrito en 5.9.5. Así el vector de estado se recalcula en cada intervalo de tiempo de la simulación según la expresión,

$$\{l_{t+\Delta t}\} = [E] \{l_t\} + [\psi] \{B\} \quad (5.29)$$

siendo

$$[\psi] = [\alpha]^{-1} [I-E] [\psi^*] \{B\} \quad (5.30)$$

y los parámetros de control se obtienen en forma de vector mediante,

$$\{c_{t+\Delta t}\} = [A^R] \{l_{t+\Delta t}\} \quad (5.31)$$

donde:

- $\{l_t\}$ vector de estado en el instante t
- $[\alpha]$ matriz de 15x15 en cuya diagonal se tienen los autovalores del problema α_n .
- $[E]$ matriz en cuya diagonal se tienen los elementos $e^{-\alpha_n \Delta t}$
- $[\psi]$ matriz de modificación de estado o de paso de intensidades de acciones elementales a modificación del vector de estado. Cada una de sus columnas corresponde a una acción elemental.
- $\{B\}$ vector de intensidades de acciones elementales
- $[A^R]$ matriz "A" reducida ó de paso del vector de estado a vector de parámetros de control. Cada fila corresponde a un parámetro de control.

El vector $\{B\}$ es obtenido en cada intervalo de tiempo a lo largo de la simulación y contiene bombeos y recargas.

La matriz $[\psi^*]$ es obtenida por el modelo al principio de la simulación. Cada columna correspondiente a una acción elemental k, constituida por un grupo de acciones puntuales, tiene los elementos,

$$\psi_{n,k}^* = \frac{1}{\sqrt{LDS}} \sum_{r=1}^{no.acces} p_r \cos\left(\frac{(1+2n)\pi}{2L} x_r\right) \quad (5.32)$$

tomándose estos elementos en el orden dado para n en el vector de estado inicial de la expresión (5.35).

La columna correspondiente a una acción elemental k distribuida en un rectángulo viene dada por 5.33.

$$\psi_{n,k}^* = \frac{4\sqrt{L}}{\pi(1+2n)\sqrt{DS} LX_k} \cos\left(\frac{(1+2n)\pi}{2L} XG_k\right) \text{sen}\left(\frac{(1+2n)\pi}{4L} LX_k\right) \quad (5.33)$$

Puesto que sólo se consideran dos parámetros de control, la matriz $[A^R]$ tiene en este caso dos filas. La primera corresponde al parámetro de control de volumen almacenado en el acuífero,

$$A_{1,n}^R = \frac{4\sqrt{LDS} (-1)^n}{(1 + 2n)\pi} \tag{5.34}$$

la segunda corresponde a las salidas por el borde $x=L$,

$$A_{2,n}^R = \frac{4\sqrt{LDS} (-1)^n}{(1 + 2n)\pi} \alpha_n \tag{5.35}$$

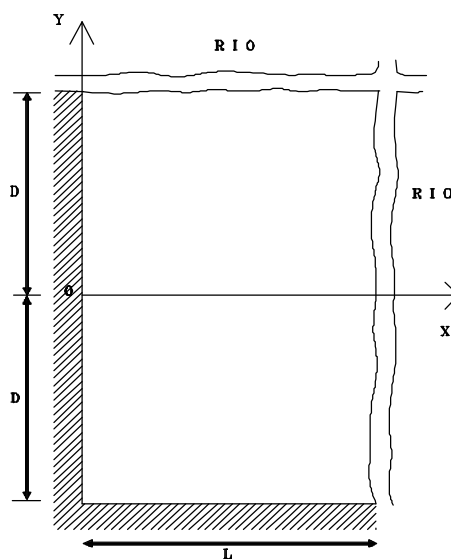
Los autovalores son obtenidos mediante

$$\alpha_n = \frac{\pi^2}{4S} \left[T_x \frac{(1 + 2n)^2}{L^2} \right] \tag{5.36}$$

5.9.7. Acuífero rectangular homogéneo conectado por dos de sus lados contiguos con ríos totalmente penetrantes

Se trata de un modelo como el del caso descrito en 5.9.6 pero con las modificaciones correspondientes a la presencia de un río totalmente penetrante en $y=D$. En la figura puede verse la disposición de los ejes coordenados en este caso.

La solución analítica de este caso ha sido dada por Ramos et al. (1983) y aquí es adaptada para obtener los elementos de las matrices $[\psi^*]$ y $[A^R]$ ya descritas en 5.9.6.



Los datos de los que ha de disponer el usuario son los mismos que en el caso 5.9.6. Sin embargo, el vector de estado inicial se obtiene en este caso mediante,

$$I_0^{n,m} = \sqrt{\frac{2S}{LD}} \int_{x=0}^{x=L} \int_{y=-D}^{y=D} H(x,y) \cos\left(\frac{(1+2n)\pi}{2L}x\right) \cos\left(\frac{(1+2m)\pi}{4D}(D+y)\right) dx dy \quad (5.37)$$

siendo el orden en que han de darse sus componentes el correspondiente al de las parejas (n,m) siguientes: (0,0), (0,1), (1,0), (0,2), (1,1), (2,0), (0,3), (1,2), (2,1), (3,0), (0,4), (1,3), (2,2), (3,1), (4,0), (0,5), (1,4), (2,3), (3,2), (4,1), (5,0), (0,6), (1,5), (2,4), (3,3), (4,2), (5,1), y (6,0).

Los parámetros de control considerados en este caso son los cuatro siguientes:

1. Volumen almacenado en el acuífero
2. Salidas al río totales por bordes $x=L$ e $y=D$
3. Salidas al río borde $x=L$
4. Salidas al río por borde $y=D$

La simulación del acuífero se lleva a cabo de forma idéntica al caso 5.8.5 pero el cálculo de los elementos de las matrices $[\psi^*]$ y $[A^R]$ es distinto. Cada columna de $[\psi^*]$ correspondiente a una acción elemental k constituida por un grupo de acciones elementales tiene los elementos dados por 5.44.

$$\psi_{n,m,k}^* = \sqrt{\frac{2}{LDS}} \sum_{r=1}^{no.accs} p_r \cos\left(\frac{(1+2n)\pi}{2L}x_r\right) \cos\left(\frac{(1+2m)\pi}{4D}(y_r + D)\right) \quad (5.38)$$

Las columnas correspondientes a una acción elemental k distribuida en un rectángulo,

$$\psi_{n,m,k}^* = \frac{32\sqrt{2LD}}{\pi^2(1+2n)(1+2m)LX_kLY_k\sqrt{S}} \cos\left(\frac{(1+2n)\pi}{2L}XG_k\right) \operatorname{sen}\left(\frac{(1+2n)\pi}{4L}LX_k\right) \cos\left(\frac{(1+2m)\pi}{4D}(D+YG_k)\right) \operatorname{sen}\left(\frac{(1+2m)\pi}{8D}LY_k\right) \quad (5.39)$$

En las expresiones 5.38 y 5.39 el orden para n y m es el especificado para 5.37.

La matriz $[A^R]$ tiene en este caso cuatro filas correspondientes a los parámetros de control antes dados:

1. La primera corresponde al volumen almacenado en el acuífero,

$$A_{1,n,m}^R = \frac{8(-1)^{n+m} \sqrt{2LDS}}{\pi^2 (1+2n)(1+2m)} \quad (5.40)$$

2. La segunda a salidas totales por los bordes $x=L$ e $y=D$,

$$A_{2,n,m}^R = \frac{8(-1)^{n+m} \sqrt{2LDS}}{\pi^2 (1+2n)(1+2m)} \alpha_{n,m} \quad (5.41)$$

3. Salidas por borde $x=L$

$$A_{3,n,m}^R = 2T_x \sqrt{\frac{2}{LDS} \frac{D(1+2n)}{L(1+2m)}} (-1)^{n+m} \quad (5.42)$$

4. Salidas por borde $y=D$,

$$A_{4,n,m}^R = \frac{1}{2} T_y \sqrt{\frac{2}{LDS} \frac{L(1+2m)}{D(1+2n)}} (-1)^{n+m} \quad (5.43)$$

En realidad la ecuación (5.49) puede ser obtenida a partir de (5.47) y (5.48) puesto que las salidas totales son la suma de las correspondientes a ambos bordes de nivel constante $x=L$ e $y=D$.

Los autovalores son obtenidos mediante la expresión,

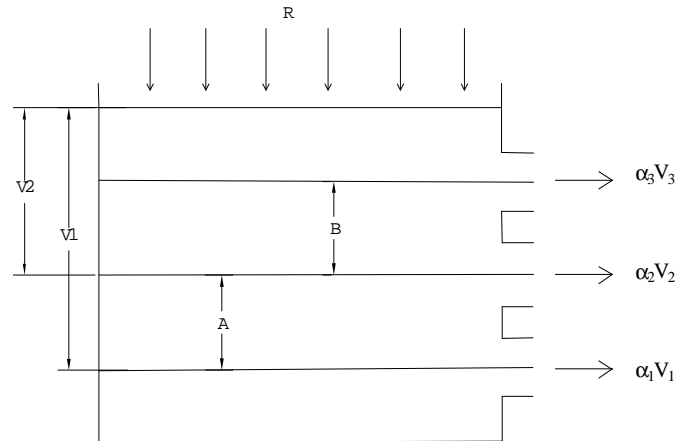
$$\alpha_{n,m} = \frac{\pi^2}{4S} \left(T_x \frac{(1+2n)^2}{L^2} \right) \quad (5.44)$$

Las parejas de valores (n,m) toman siempre el orden definido para la ecuación (5.37)

Es importante señalar que dos conducciones de tipo 3 se relacionen con cada lado del acuífero, o una con ambos lados del acuífero.

5.9.8. Acuífero de tres niveles.

Para simular el caso en que un acuífero por ejemplo los de las Vegas Media y Baja del Segura, presenta la posibilidad de que se produzca evaporación a partir del acuífero, drenaje intermedio por la red de azarbes y conexión hidráulica con el río, se ha diseñado el modelo de acuífero de tres niveles. Las ecuaciones resultantes vienen explicadas como sigue:



$$dv = R dt - \alpha_3 V_3 dt - \alpha_2 V_2 dt - \alpha_1 V_1 dt \tag{5.45}$$

$$\frac{dV_1}{dt} = R - (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) V_1 + \alpha_3 (A + B) + \alpha_2 A \tag{5.46}$$

Cuya solución es:

$$V_1(t) = V_1(o) e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)t} + \frac{R + \alpha_3 (A + B) + \alpha_2 A}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3} (1 - e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)t}) \tag{5.47}$$

Si \$V_1 > A+B\$ y designado en adelante para mayor claridad de notación la serie temporal de estos volúmenes como \$V_k\$ suprimiendo el subíndice 1

$$V_{k+1} = V_k e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)\Delta t} + \frac{R_k / \Delta t + \alpha_3 (A + B) + \alpha_2 A}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3} (1 - e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)\Delta t}) \tag{5.48}$$

$$\Delta V_k = V_k^* - V_k \tag{5.49}$$

$$V_{k+1}^* = V_k^* e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)\Delta t} + \frac{R_k / \Delta t + \alpha_3 (A + B) + \alpha_2 A}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3} (1 - e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)\Delta t}) - B_k \tag{5.50}$$

$$\Delta V_{k+1} = \Delta V_k e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)\Delta t} - B_k \quad (5.51)$$

Si $V_1 < A+B$ y $V_1 > A$

$$V_{k+1}^* = V_k^* e^{(\alpha_1 + \alpha_2)\Delta t} + \frac{R_k / \Delta t + \alpha_2 A}{\alpha_1 + \alpha_2} (1 - e^{-(\alpha_1 + \alpha_2)\Delta t}) - B_k \quad (5.52)$$

$$\Delta V_{k+1} = V_k^* e^{-(\alpha_1 + \alpha_2)\Delta t} - V_k e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)\Delta t} + \frac{R_k / \Delta t + \alpha_2 A}{\alpha_1 + \alpha_2}. \quad (5.53)$$

$$(1 - e^{-(\alpha_1 + \alpha_2)\Delta t}) - \frac{R_k + \alpha_3(A+B) + \alpha_2 A}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3} (1 - e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)\Delta t}) - B_k \quad (5.54)$$

Si $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ es suficientemente pequeño:

$$\Delta V_{k+1} = (\Delta V_k e^{(\alpha_3 \Delta t)} + \alpha_3 \Delta t V_k) e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)\Delta t} - \alpha_3(A+B)\Delta t - B_k \quad (5.55)$$

Si $V_1 < A$

$$V_{k+1}^* = V_k^* e^{(-\alpha_1 \Delta t)} + R_k - B_k \quad (5.56)$$

$$\Delta V_{k+1} = (V_k^* e^{(\alpha_2 + \alpha_3)\Delta t} - V_k) e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)\Delta t} - (\alpha_2 A + \alpha_3(A+B))\Delta t - B_k \quad (5.57)$$

$$\Delta V_{k+1} = (\Delta V_k e^{(\alpha_2 + \alpha_3)\Delta t} - V_k (1 - e^{(\alpha_2 + \alpha_3)\Delta t})) e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)\Delta t} - (\alpha_2 A + \alpha_3(A+B))\Delta t - B_k \quad (5.58)$$

Lo mismo que en el caso de los acuíferos unicelulares con una sola salida, cuando existe una no linealidad, para calcular el volumen V_{k+1} en el intervalo siguiente hace falta conocer el volumen V_k no influenciado, o el volumen drenado por el acuífero en ese intervalo. También

puede hacerse si se conoce la recarga R_k en el intervalo, pero éste es un dato que no suele conocer períodos algo largos

Los datos necesarios para la modelación son:

- Los valores de los coeficientes de desagüe α_1 , corresponden a la conexión río-acuífero y α_2 correspondiente al drenaje por azarbes o intermedio.
- Los valores mensuales de los coeficientes de desagüe α_3 por evapotranspiración potencial.
- Los volúmenes entre el nivel de conexión río-acuífero y el desagüe intermedio, A, entre este último y el nivel de cese de evaporación, A, entre este último y el nivel de cese de evaporación, B, y el volumen total inicial V_1 .
- Los valores de la recarga histórica.

A partir de estos datos y de los valores de recarga neta (acción elemental no. 1), excluida la natural, el modelo proporciona los valores de relación con el río, Q_1 (parámetro de control no.1), las salidas por azarbes, Q_2 (parámetro de control no.2), la evaporación efectiva, Q_3 (parámetro de control no.3), y el volumen a final de mes V_1 (parámetro de control no.4).

Nótese que en este caso se actúa por superposición sino que los valores son totales, por consiguiente hay que tener cuidado si aguas abajo de la relación con el acuífero hay series de aportaciones, pues en ese caso deberían de ser corregidas de antemano descontando la relación histórica río-acuífero.

5.9.9. Cuadro resumen de acciones elementales para los distintos tipos de acuífero

Tipo de Acuífero	Número acciones	Descripción
Depósito	1	1. Recarga Neta
Unicelular	1	1. Recarga Neta
Manantial	2	1. Recarga lejos del manantial 2. Recarga cerca del manantial
Modelación método autovalores	NAES	Las NAES acciones son definidas por el usuario.
Rectangular homogéneo conectado por uno de sus lados	NAES + 1	- El usuario define NAES acciones - La acción número NAES+1 corresponde a compensación de detracciones imposibles de conducción tipo 3 conectada al acuífero.
Rectangular homogéneo conectado por dos lados contiguos	NAES + 3	- El usuario define NAES acciones - Las tres siguientes acciones corresponden a compensación de detracciones imposibles: . NAES+1 para conexión por x=L . NAES+2 para conexión por y=D . NAES+3 para el caso de conexión con una sola conducción tipo 3 pero por los dos lados x=L e y=D
Tres Niveles	1	1. Recarga Neta
Acuífero pluricelular	NAES	1. Recarga uniforme 2 a NAES. Acciones definidas por el usuario

5.9.10. Cuadro resumen de parámetros de control para los distintos tipos de acuífero

Tipo de acuífero	Número parámetros	Descripción
Depósito	1	1. Volumen almacenado
Unicelular	2	1. Volumen almacenado 2. Salidas acuífero
Manantial	2	1. Volumen almacenado 2. Salidas manantial
Modelación método autovalores	NPC	Los NPC parámetros son definidos por el usuario
Rectangular homogéneo conectado por uno de sus lados	2	1. Volumen almacenado 2. Salidas acuífero por borde $x=L$
Rectangular homogéneo conectado por dos lados contiguos	4	1. Volumen almacenado 2. Salidas acuífero por borde $x=L$ 3. Salidas acuífero por borde $y=D$ 4. Salidas totales por ambos bordes $x=L$ e $y=D$
Tres Niveles	4	1. Relación con el río 2. Salidas por azarbes 3. Evaporación efectiva 4. Volumen final de mes
Acuífero pluricelular	NANT+3	1. Volumen almacenado 2. Salidas en manantial a fin de mes (hm^3/mes) 3. Salidas totales en el mes por manantial (hm^3/mes) 4. Volumen en celda 1 n+3. Volumen en celda n

5.10. Recargas artificiales y bombeos adicionales.

Son elementos definidos simplemente a los efectos de conectar los posibles flujos controlados del sistema superficial al subterráneo (caso de las recargas artificiales) y/o viceversa (caso de los bombeos adicionales).

En ambos casos, para definirlos es necesario dar el número del nudo del esquema de donde parten o adonde se incorporan y la capacidad máxima instalada.

El modelo, en la gestión, producirá recarga artificial siempre que existan sobrantes de aguas del sistema superficial disponibles aguas arriba de la toma de esta.

Los bombeos adicionales son posibles extracciones de agua de un acuífero para su incorporación al sistema superficial y su utilización aguas abajo. En la gestión el modelo recurrirá a bombeos adicionales siempre que los recursos superficiales sean insuficientes para el suministro de las zonas con un número de prioridad igual al designado a la hora de definir el bombeo adicional, y que el déficit en éstas supere un porcentaje dado de la demanda.

5.11. Indicadores de alarma.

Se trata de criterios de gestión o reglas de operación cuya función es reducir el consumo de agua cuando la reserva hidráulica del sistema, o de una parte de este, esta por debajo de límites especificados por el usuario. Cada indicador viene definido por las variables de estado del sistema y una función por la que se deduce la regla de operación.

El indicador del estado del sistema puede consistir en evaluar el volumen de reservas en uno o varios embalses, o en calcular el volumen total de recursos naturales aportados por una parte de la cuenca durante los últimos meses.

Cada indicador de alarma lleva asociado a un grupo de embalses (o aportaciones) y una tabla de volumen - coeficiente de restricción. Puede haber embalses comunes a varios indicadores distintos e incluso se puede definir indicadores distintos asociados al mismo grupo de embalses.

La tabla de volumen – coeficiente de restricción puede ser diferente para cada mes del año. También se puede optar porque se calcule en base al valor de volumen de reservas a principio de mes o que se utilice como umbral mínimo, de manera que el programa tratará de no bajar las reservas por debajo de este umbral.

Para el caso de cálculo al principio de cada mes, el programa calcula la suma de los volúmenes almacenados en los embalses asociados y, mediante la tabla dada, obtiene el coeficiente de restricción correspondiente al indicador para dicho mes. Hay que recalcar que estos indicadores se calculan sobre el valor de reservas a principio de mes, sin tener en cuenta las entradas durante el mismo mes ni la situación en que el embalse pueda quedar a final de mes. La tabla siguiente muestra un ejemplo de interpolación para de una curva de este tipo.

Definición del indicador de alarma-restricción como curva continua evaluada a principio de mes	Embalses: Embalse 1 Embalse 2				
	Curva de volumen - restricción				
	Volumen	20	25	80	130
	Restricción	0.7	0.5	0.5	0.2
Ejemplos de aplicación	Volumen de embalses a principio de mes			Restricción	Suministro
	Embalse 1	Embalse 2	Total		
Situación 1	10	4	14*	79%	21%
Situación 2	15	11	26	50%	50%
Situación 3	50	40	90	44%	56%
Situación 4	70	70	140**	14%	86%

*Para valores de volumen por debajo del primer dato interpola con: volumen = 0; restricción = 1.0

** Para valores de volumen por encima del último dato extrapola a partir de los últimos 2 datos, si solo hay un dato lo hace con este y el valor (volumen=0; restricción=1)

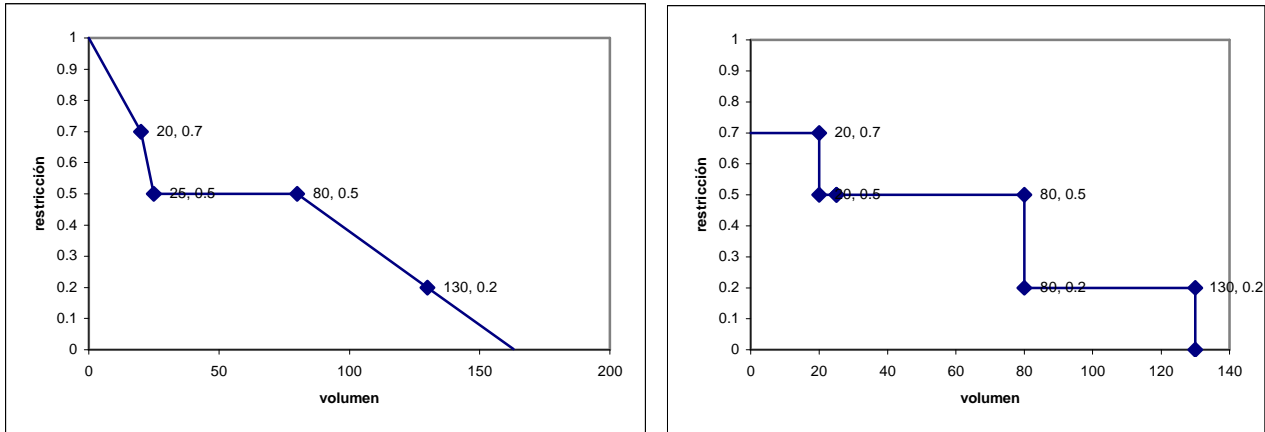
Para el caso de definir la regla de operación como umbral, el programa no interpolará entre los distintos valores de la curva, sino que cada dato de volumen se considerará como un umbral mínimo que no debe rebasarse; en consecuencia el control del indicador de alarma se hace en el proceso iterativo sobre el volumen final de referencia, en lugar de calcularse sobre el volumen inicial. En este caso, para la misma tabla de valores definida antes se tendría las siguientes restricciones.

Definición del indicador de alarma-restricción como umbral mínimo	Embalses: Embalse 1 Embalse 2				
	Curva de volumen - restricción				
	Volumen	20	25	80	130
	Restricción	0.7	0.5	0.5	0.2
Ejemplos de aplicación	Volumen final calculado en el mes*			Restricción	Suministro
	Embalse 1	Embalse 2	Total		
Situación 1	10	4	14	70%	30%
Situación 2	15	11	26	50%	50%
Situación 3	50	40	90	50%	50%
Situación 4	70	70	140	0%	100%

* Nótese que a diferencia del caso anterior, estos volúmenes se calculan como resultado de la gestión en el mes, y dependen por tanto de la restricción aplicada. Para resultados de volumen cercano a un umbral, es posible que el coeficiente de restricción calculado tome un valor entre este y el anterior coeficiente.

Además el programa mediante un proceso iterativo tratará de no rebasar un umbral con el suministro definido en el mismo escalón, de manera que si la diferencia entre el volumen disponible y el inmediato volumen umbral es pequeña, se calculará un suministro por el que no se supere este umbral.

Nótese que en cada caso aunque los valores de la curva son los mismos, la curva se define de diferente manera. En el primer caso es una curva continua, y en el segundo caso es una curva escalonada (ver figura siguiente).



La primera curva representa el caso de las reglas de operación 1 a 3 y la segunda las reglas 4 y 5. Además, en el caso de calcularse con volúmenes de embalses, las primeras se calculan sobre el valor de reservas a principio de mes, y las segundas se trata de no rebasarlas durante el mes.

Los indicadores de alarma pueden aplicarse a caudales máximos mensuales de tomas de demandas, a caudal máximo mensual en conducciones tipo 1, a caudal mínimo mensual en conducciones tipo 1 o para caudal objetivo mensual en demandas no consuntivas. Del mismo modo puede aplicarse a la máxima dotación anual de tomas o de conducciones tipo 1. En el caso de aplicarse a la dotación anual, el modelo calcula el volumen de agua suministrado previamente durante los meses anteriores en el año hidrológico, y si este suministro ha sido inferior a la nueva dotación anual permite que se continúe suministrando hasta completar la dotación anual reducida.

El usuario ha de juzgar la conveniencia de usar este tipo de indicador según las características del problema que está evaluando.

6. GESTIÓN DEL SISTEMA DE RECURSOS HIDRÁULICO

Para resolver el problema de la gestión del sistema, el programa construye una red de flujo conservativa que resuelve mediante optimización. Este problema de optimización se describe en el apartado 6.1 y 6.2.

Además, el programa realiza un proceso iterativo sobre el algoritmo de optimización para resolver flujos no lineales como la evaporación de embalses, y reglas de operación como los indicadores de alarma y el reparto del déficit entre “grupos isoprioritarios” (apartado 6.3).

6.1. Función Objetivo.

Estrictamente hablando, al resolver la optimización de la red de flujo, el modelo en cada mes utiliza la siguiente función objetivo:

Minimizar:

$$T_E + T_{R1} + T_{R2} + T_{R3} + T_{R4} + T_{R5} + T_{DC} + T_{DN} + T_{RA} + T_{BA} \quad (6.1)$$

donde:

T_E es un término debido a los embalses

T_{R1} es un término debido a los tramos de río tipo 1

T_{R2} es un término debido a los tramos de río tipo 2

T_{R3} es un término debido a los tramos de río tipo 3

T_{R4} es un término debido a los tramos de río tipo 4

T_{R5} es un término debido a los tramos de río tipo 5

T_{DC} es un término debido a las demandas consuntivas

T_{DN} es un término debido a las demandas no consuntivas

T_{RA} es un término debido a las recargas artificiales

T_{BA} es un término debido a los bombeos adicionales

Sujeto a las restricciones de conservación de masa (continuidad) y a las de los límites físicos de transporte de conducciones y capacidades de embalses y otros elementos.

A continuación se expresa matemáticamente el contenido de estos términos y posteriormente se explica como esta función objetivo así formada pretende suministrar las demandas al mismo tiempo que adaptarse al máximo a las políticas de explotación de embalses.

6.1.1. Contribución a la función objetivo de los elementos embalse.

Dada la configuración en la red interna que se origina para un elemento embalse, la contribución de estos a la función objetivo es:

$$T_E = \sum_{i=1}^{nemb} \left(\left(\sum_{j=1}^4 V_{ij} CE_{ij} \right) + P_i CV \right) \quad (6.2)$$

donde:

nemb es el número de embalses

V_i es el volumen a final de mes en cada zona **j**, **j=1,2,3** y **4**, del embalse **i**. La zona 1 es la zona de reserva, la 2 es la zona inferior, la 3 es la zona intermedia, y la 4 es la zona superior,

P_i son los vertidos (sueitas no controladas) del embalse **i**

CE_{ij} es el costo ficticio asociado al volumen embalsado en la zona **j**, y viene dado por:

$$CE_{ij} = k_j + NP_i \quad (6.3)$$

donde :

k_j son valores preestablecidos (por defecto son: **k₁=-1700**; **k₂=-1100**; **k₃=-1000**; **k₄=-700**) y

NP_i es el número de prioridad asignado al embalse y.

CV es el costo ficticio asociado al vertido (por defecto **CV=2000**)

6.1.2. Contribución a la función objetivo de las conducciones de tipo 1

Dada la configuración que se origina para un tramo de río tipo 1 en la red interna, se tiene que:

$$T_{RI} = \sum_{i=1}^{ntr1} \left(D_i CD_i + (Q_i - Q_i^{\min}) \cdot CQ_i \right) \quad (6.4)$$

donde:

ntr1 es el número de tramos de río tipo 1

Q_i es el caudal que circula por el tramo de río **i**. Si se ha definido un caudal mínimo en el tramo de río, el valor de **Q_i** será el máximo entre el caudal que circula y el caudal mínimo definido. En consecuencia un coste ficticio en un tramo de río no se suma al coste asociado al déficit sobre caudal mínimo.

D_i es el déficit con respecto al caudal mínimo declarado:

$$D_i = \begin{cases} Q_i^{min} - Q_i & \text{si } Q_i^{min} > Q_i \\ 0 & \text{si } Q_i^{min} \leq Q_i \end{cases} \quad (6.5)$$

CD_i es el costo ficticio asociado al déficit de caudal mínimo y viene dado por:

$$CD_i = KD - NP_i \quad (6.6)$$

donde:

KD es un valor constante (por defecto $KD = 1700$) y
 NP_i es el número de prioridad asignado al caudal mínimo en el tramo de río i .
 CQ_i es el costo ficticio asociado al caudal que circula por el tramo de río i . Solo afecta al caudal por encima del caudal mínimo. Por defecto $CQ_i=0$. Si se declara de otra forma puede valer $CQ_i=1$ (by-pass) ó puede ser definido por el usuario.

6.1.3. Contribución a la función objetivo de las conducciones de tipo 2.

Para los tramos de río tipo 2 se tiene que:

$$T_{R2} = \sum_{i=1}^{ntr2} (D_i CD_i + DF_i CF_i + 1) \quad (6.7)$$

siendo:

$ntr2$ el número de tramos de río tipo 2
 D_i y CD_i el mismo significado que en tramos de río tipo 1 y dados por las ecuaciones (6.5) y (6.6) respectivamente.
 DF_i es el posible déficit de filtraciones, dado por:

$$DF_i = \begin{cases} FILC - QENT & \text{si } FILC > QENT \\ 0 & \text{si } FILC \leq QENT \end{cases} \quad (6.8)$$

donde:

$FILC$ son las filtraciones calculadas según la ecuación 5.3
 $QENT$ es el caudal de entrada al tramo de río.
 CF_i es el costo asociado a DF_i (por defecto $CF_i=2100$)

El segundo término de la expresión entre paréntesis en la ecuación (6.7) es sólo funcional, para evitar solución no factible en el algoritmo, y en la última iteración correspondiente al mes en cuestión se anula pues se tiene que $DF_i=0$. Por lo tanto, la verdadera contribución de los tramos de río tipo 2 es:

$$T_{R2} = \sum_{i=1}^{ntr2} (D_i CD_i + 1) \quad (6.9)$$

6.1.4. Contribución a la función objetivo de las conducciones de tipo 3.

De forma similar se tiene que la fórmula estricta, dado el esquema generado en la red interna es:

$$T_{R3} = \sum_{i=1}^{ntr3} (D_i CD_i + DF_i CF_i + 1) \quad (6.10)$$

siendo :

$ntr3$ el número de tramos de río tipo 3, pero su contribución en la última iteración es:

$$T_{R3} = \sum_{i=1}^{ntr3} (D_i CD_i + 1) \quad (6.11)$$

pues DF_i se anula. DF_i es en este caso la diferencia entre la posible detracción DET calculada por la simulación del acuífero conectado con el río y el caudal entrante, caso de que este no sea suficiente para que ocurra:

$$DF_i = \begin{cases} DET - QENT & \text{si } DET > QENT \\ 0 & \text{si } DET \leq QENT \end{cases} \quad (6.12)$$

donde:

CF_i tiene asignado un valor de $CF_i=2100$.

6.1.5.- Contribución a la función objetivo de las conducciones de tipo 4.

Dada la configuración que se origina para una conducción de tipo 4 en la red interna, su contribución es idéntica a la de las conducciones de tipo 1:

$$T_{R4} = \sum_{i=1}^{ntr4} (D_i CD_i + Q_i CQ_i) \quad (6.13)$$

donde:

ntr4 es el número de conducciones de tipo 4
Q_i es el caudal que circula por la conducción de tipo 4, *i*
D_i es el déficit con respecto al caudal mínimo del mes:

$$D_i = \begin{cases} Q_i^{min} - Q_i & \text{si } Q_i^{min} > Q_i \\ 0 & \text{si } Q_i^{min} \leq Q_i \end{cases} \quad (6.14)$$

CD_i es el costo ficticio asociado al déficit de caudal mínimo y viene dado por:

$$CD_i = KD - NP_i \quad (6.15)$$

donde:

KD es un valor constante (por defecto **KD = 2000**) y
NP_i es el número de prioridad asignado al caudal mínimo en la conducción de tipo 4, *i*.
CQ_i es el costo ficticio asociado al caudal que circula por la conducción *i*. Por defecto **CQ_i=0**. Si se declara de otra forma puede valer **CQ_i=1** ó puede ser definido por el usuario.

6.1.6.- Contribución a la función objetivo de las conducciones de tipo 5.

Para las conducciones de tipo 5 se tiene que:

$$T_{R5} = \sum_{i=1}^{ntr5} DF_i CF5_i \quad (6.16)$$

siendo:

ntr5 el número de conducciones de tipo 5
DF_i es el posible déficit sobre el máximo caudal que puede circular por la conducción dado por,

$$DF_i = |Q_{INT} - Q_{ENT}| \quad (6.17)$$

donde:

$QINT$ es el caudal que debe circular por la conducción obtenido a partir de la integración, en el mes dado, de los caudales instantáneos como función de la diferencia de cota entre los extremos de la conducción.

$QENT$ es el caudal de entrada en la conducción

$CF5_i$ es el costo asociado a DF_i (por defecto $CF_i=1800$)

Este tipo de conducción admite el flujo en los dos posibles sentidos quedando este determinado por la integral de los caudales instantáneos en el mes. Una vez obtenido $QINT$ el sentido de circulación que determinado. Así, $QENT$ siempre es en el mismo sentido que $QINT$.

La contribución de este tipo de conducción a la función objetivo se hace nula conforme aumenta el número de iteraciones en un mes dado. Su objeto es puramente el de hacer cumplir una condición física del sistema.

6.1.7. Contribución a la función objetivo de las demandas de uso consuntivo.

La fórmula estricta, dada la configuración en la red interna generada por los elementos de demanda consuntiva es:

$$T_{DC} = \sum_{i=1}^{ndc} \left(D_i CK + \sum_{t=1}^{nto} (S_{it} (CT_{it} + 1) - DS_{it} CT_{it}) \right) \quad (6.18)$$

donde:

ndc es el número de demandas consuntivas

D_i es el déficit sobre la demanda total de la zona i en el mes en cuestión

CK es un costo ficticio constante asociado a los déficits de las zonas de demanda ($CK=750$ por defecto)

nto_i es el número de tomas de la demanda i

S_{it} es el suministro bruto a la toma t de la demanda i .

DS_{it} es el déficit al suministro bruto mínimo calculado por el modelo.

De forma que el suministro neto a la toma es:

$$SN_{it} = S_{it} - DS_{it} \quad (6.19)$$

Los términos S_{it} y DS_{it} tienen sentido a lo largo de las iteraciones, pero en la última se tiene que $DS_{it}=0$ y $SN_{it}=S_{it}$, con lo que la fórmula definitiva de la contribución a la función objetivo es:

$$T_{DC} = \sum_{i=1}^{ndc} \left(D_i CK + \sum_{t=1}^{nto} SN_{it} CT'_{it} \right) \quad (6.20)$$

donde:

$$CT'_{it} = CT_{it+1} \quad (6.21)$$

y:

$$CT_{it} = -CTC + (NP_{it}-1) CDC \quad (6.22)$$

siendo:

CTC es un valor constante, al igual que **CDC** ($CTC=750$, $CDC=5$, por defecto)
NP_{it} es el número de prioridad de la toma *t* de la demanda *i*.

6.1.8.- Contribución a la función objetivo de las demandas no consuntivas.

Viene dada por:

$$T_{DN} = \sum_{i=1}^{ndnc} (DO_i CN_i + SO_i CS) \quad (6.23)$$

donde:

ndnc es el número de demandas no consuntivas

DO_i es el déficit con respecto al caudal objetivo **QO_i**

SO_i es el superávit con respecto al caudal objetivo dado por (6.24).

$$QO_i - Q_i = \begin{cases} SO_i & \text{si } Q_i > QO_i \\ DO_i & \text{si } Q_i < QO_i \end{cases} \quad (6.24)$$

Nótese pues que **SO_i** y **DO_i** no pueden ser simultáneamente distintos de 0.

CN_i es el costo ficticio asociado al déficit, dado por:

$$CN_i = CKN - (NP_i - 1) \times CDN \quad (6.25)$$

donde:

NP_i es el número de prioridad asignado a la demanda no consuntiva.

CKN y **CDN** son valores constantes ($CKN=1500$, $CDN=5$)

CS es el coste ficticio asociado al superávit ($CS= -5$)

6.1.9. Contribución a la función objetivo de los elementos de recarga.

Viene dada por:

$$T_{RA} = \sum_{i=1}^{nra} (QR_i CR) \quad (6.26)$$

donde:

nra es el número de recargas artificiales
QR_i es el caudal recargado por la instalación *i*
CR es un costo ficticio asociado a la recarga artificial (*CR*=-5.)

6.1.10. Contribución a la función objetivo de los bombeos adicionales.

Viene dada por:

$$T_{BA} = \sum_{i=1}^{nba} (QB_i CB_i) \quad (6.27)$$

donde:

nba es el número de bombeos adicionales
QB_i es el caudal bombeado por la instalación *i*
CB_i es el costo ficticio asociado a la instalación *i*.

Viene dado por:

$$CB_i = CTC + CK - (NP_i - 0,5) \times CDC \quad (6.28)$$

donde:

CTC, *CK* y *CDC* son los mismos valores dados en demandas consuntivas y

NP_i es el número de prioridad correspondiente al grupo isoprioritario hasta el cual se quiere suministrar (Por ejemplo, si *NP_i* es 4, el *BAD* suministrará a los grupos 1 a 4).

6.2. Explicación de la gestión del sistema como consecuencia de la función objetivo.

Al ser la función objetivo del tipo de minimización, y al ser las contribuciones a la misma costes correspondientes a las variables que se explicaron en las ecuaciones 6.2 a 6.28, el algoritmo procurará aumentar el valor de las variables cuyo coste sea menor.

Por lo tanto, del repaso de las ecuaciones 6.2, 6.4, 6.9, 6.11, 6.13, 6.16, 6.20, 6.23, 6.26 y 6.27 y de los valores de los costes incluidos en ellas se extraen las siguientes conclusiones:

- Del análisis de las ecuaciones 6.18 y 6.19 a 6.22, se deduce que una unidad de agua que deje de suministrarse a la demanda i a través de la toma t supone un aumento de la función objetivo de valor:

$$F = CK - CT'_{it} = CK + CTC - NP_{it} \cdot CDC + CDC - 1 \quad (6.29)$$

que, dados los valores por defecto de CK , CTC y CDC de 750, 750 y 5, respectivamente, suponen que

$$F = 1504 - 5 NP_{it} \quad (6.30)$$

lo que supone que un déficit unidad en una zona con prioridad $NP_{it}=1$ aumenta la función objetivo en 1499 unidades de coste, y una con prioridad 2 lo hace en 1494 y así sucesivamente. De esta forma se ve que el modelo tratará de satisfacer en primer lugar las zonas con número de prioridad menor.

- Del análisis de las ecuaciones 6.4, a 6.12, puede deducirse que una unidad de agua que deje de circular en una conducción de caudal mínimo, hasta el mínimo, supone un aumento de la función objetivo de:

$$F = CD_i = KD - NP_i \quad (6.31)$$

con lo que un déficit unidad en un caudal mínimo de una conducción con prioridad 1 supone un aumento en la función objetivo de 1999 unidades, y uno de prioridad 2 de 1998, y así sucesivamente.

- Por comparación de los valores resultantes de ecuaciones 6.30 y 6.31 se ve que, con los valores por defecto de los parámetros de coste, se satisfarán antes los caudales ecológicos que las demandas consuntivas. Si se hiciera, $KD=CK+CTC+CDC$, entonces coincidirían las prioridades de caudal mínimo con prioridad 1 y demanda consuntiva con número de prioridad=1. Y si a los caudales mínimos se dieran números de prioridad de 5 en 5 (de CDC en CDC) se igualaría la prioridad de estos a la de las demandas con prioridad 2, 3, etc. Además nótese que con dichos

valores por defecto de los parámetros se utilizará agua de la zona de reserva de embalse para satisfacer caudales mínimos en conducciones.

- Del análisis de las ecuaciones 6.23 y 6.25, se deduce que una unidad de agua no suministrada a una demanda de uso no consuntivo, hasta el caudal objetivo, supone un aumento en la función objetivo de

$$F = CN_i = CKN + CDN - CDN \cdot NP_i \quad (6.32)$$

que con los valores por defecto antes mencionados supone:

$$F = 1505 - 5 \cdot NP_i \quad (6.33)$$

siendo válidos los mismos comentarios que para la ecuación 6.30.

- Por lo tanto, con los valores por defecto, las demandas no consuntivas y las consuntivas están prácticamente al mismo nivel de prioridad.
- Del análisis de la ecuación 6.26 puede verse que una unidad de agua para recarga artificial aumenta el valor de la función objetivo en:

$$F = CR \quad (6.34)$$

que con el valor por defecto de CR es

$$F = -5. \quad (6.35)$$

- Del análisis de las ecuaciones 6.27 y 6.28 puede verse que una unidad de agua extraída en un bombeo adicional aumenta el valor de la función objetivo en:

$$F = CB_i = CTC + CK - (NP_i - 0,5) \cdot CDC \quad (6.36)$$

que con los valores por defecto de CTC y CDC es:

$$F = 1500 - 5 (NP_i - 0,5) \quad (6.37)$$

con lo que un bombeo adicional en el que se ha declarado $NP_i = 1$ daría $F = 1497,5$

- Del análisis de las ecuaciones 6.2 y 6.3 se deduce que una unidad de agua almacenada en la zona j de un embalse supone un aumento en la función objetivo dado por la ecuación 6.3 que al ser los k_j por defecto negativos, supone en realidad una disminución de la función objetivo. Al crecer NP_i , el valor de F crece, con lo que el algoritmo tenderá a almacenar antes en la zona j de un embalse con menor NP_i que en la de uno con mayor NP_i . No obstante, al ser $|k_{j+1}| \ll |k_j|$, el algoritmo

tenderá a almacenar antes en la zona j del embalse i que en la zona $j+1$ del embalse k aunque $NP_i < NP_k$. El resultado será pues el de mantener los embalses en la misma zona de llenado, y ya dentro de ella desembalsando antes de un embalse con mayor NP_i .

- Con los valores por defecto de k_j ($k_1=-1700$, $k_2=-1100$, $k_3=-1000$, $k_4=-700$), vemos que desembalsará agua de cualquier zona para satisfacer demandas, excepto de la zona de reserva, que no será tocada, pues está en un nivel 1700 , mientras que las demandas estaban en un nivel 1500 .
- El costo asociado a un vertido incontrolado es simplemente para evitar que el algoritmo pase agua por ese arco de la red antes de que se llene el embalse. Si aguas abajo hubiesen varios tramos de río con caudal ecológico, situados en serie, puede darse la situación de estar sacando agua del embalse a través de vertidos. Esto no respondería a la realidad física del sistema. Estas situaciones deben ser detectadas por el usuario.

6.3. Grupos Isoprioritarios.

Puede definirse para distintas tomas de distintas demandas de uso consuntivo el mismo número de prioridad, en cuyo caso formarán parte del mismo "grupo isoprioritario". El modelo se encarga entonces de, en caso de que exista déficit en el suministro, repartir el agua disponible proporcionalmente al valor de la demanda (punta) definida para cada toma del grupo isoprioritario. Esto se hará siempre que sea posible, aunque puede haber situaciones en las que no lo sea, como por ejemplo en el caso de que sea imposible repartir un déficit de una zona muy aguas arriba que no recibe agua de aportaciones intermedias.

6.4. Proceso iterativo.

Además de la función objetivo descrita arriba, el programa necesita resolver algunas condiciones no lineales como: evaporación de embalses, filtraciones, simulación de acuíferos y su relación con el río, retornos, conducciones tipo 4 y tipo 5 y las reglas de operación del tipo "alarma-restricción". Para resolver estas no linealidades SIMGES inserta la solución de la función objetivo dentro de un proceso iterativo que en cada paso modifica los límites en los arcos correspondientes de la función objetivo para adaptarla a las condiciones mencionadas. Este proceso iterativo continúa hasta que se comprueba que la última solución difiere poco de la anterior o hasta que se alcanza el máximo fijado.

La condición dada por los elementos de tipo alarma-restricción puede alterar en gran medida el resultado de la gestión del sistema descrito en los apartados anteriores, ya que puede cambiar completamente las asignaciones de agua. Por ejemplo, permite alterar el sistema de prioridades establecido por los grupos isoprioritarios reduciendo arbitrariamente el suministro a una

demanda o a un conjunto de estas, con independencia de su número de prioridad. El uso de los elementos de alarma-restricción se describe en el capítulo 5.11.

7. PREPARACIÓN DE LOS ARCHIVOS DE DATOS

Para la utilización del modelo el usuario deberá preparar cinco archivos de datos, a saber:

- 1^{ro}. Archivo de datos para lectura y escritura
- 2^{do}. Archivo de datos físicos y de gestión
- 3^{ro}. Archivo de costos ficticios
- 4^{to}. Archivo de aportaciones
- 5^{to}. Archivo de evaporaciones (opcionalmente)
- 6^{to}. Archivo de datos para gráficos (opcionalmente)

Como se verá más adelante, el más importante y complejo es el segundo, siendo el primero, tercero y sexto muy sencillos. El cuarto y quinto, de aportaciones y evaporaciones, contiene datos hidrológicos que son obtenidos a partir de estudios previos al uso del modelo.

Es importante señalar el número de decimales que se emplean para el cálculo. Por defecto, el modelo trabaja con tres decimales, pudiéndose ampliar a cuatro.

A continuación se describe el contenido de cada uno de estos archivos.

7.1. Archivo de datos para lectura y escritura

Se le nombrará "**DATOS.DAT**", pues el modelo lo busca bajo este nombre en el directorio desde el que se ejecute.

Contiene los nombres de los otros archivos de datos, así como de los que se desea que tengan los archivos de salida de resultados.

Contiene los registros (líneas) siguientes: (en formato libre, con alfanuméricos entre comillas).

- 1^{er} registro: - Contendrá el número de la versión **SIMGES** que se está utilizando precedido de la letra V y de un espacio en blanco. Este dato permite llevar a cabo simulaciones con versiones anteriores de archivos de datos que se describen en anteriores ediciones de este manual, en cuyo caso algunos de los datos que aquí se describen no existirían. Así, podría corresponder a 'V 1.30', etc. La descripción de archivos de datos incluida en este manual corresponde a 'V 3.00'.
- 2^o registro: - Nombre del archivo que contiene los datos que definen la topología, características físicas y reglas de gestión del sistema.

-
- 3^{er} registro: - Nombre del archivo que contiene los datos de aportaciones a utilizar en la simulación actual.
- 4^o registro: - Nombre del archivo que contiene las series de evaporaciones específicas a utilizar en la simulación actual. Si no se utilizara este tipo de datos en ningún embalse del sistema, dicho archivo no llegaría a ser abierto por el programa y, por tanto, su inexistencia no generaría error en la ejecución del modelo. En cualquier caso esta línea es siempre leída por el modelo y por ello debe contener un nombre de archivo entre comillas (puede admitirse una tira de caracteres 'blanco' si no va a utilizarse este archivo).
- 5^o registro: - Nombre del archivo que contiene los costes ficticios de la red interna.
- 6^o registro: - Nombre archivo previsto para la salida del eco de datos (En el apartado 8.1 se lo identifica como archivo de escritura “nombre1.ext”).
- 7^o registro: - Nombre del dispositivo o archivo previsto para salidas anuales. (ha de ser distinto del anterior). En el caso de que se defina salida anual por grupos de años (tal y como se explica en el apartado 7.2, 3er registro), se generan múltiples archivos de salidas anuales cuya extensión corresponde a los 3 últimos dígitos del número del primer año de cada grupo de años. Así, en este caso, la extensión no se mantiene, y debe comprobarse por parte del usuario que las posibles combinaciones del nombre con las distintas extensiones que se generen, no coinciden con alguno de los otros nombres de archivos dados (En el apartado 8.1 se lo identifica como archivo de escritura “nombre2.ext”).
- 8^o registro: - Nombre del dispositivo o archivo previsto para resumen. (ha de ser distinto de los dos anteriores). Si se solicita salida de función objetivo (véase mas adelante), las medias de sus resultados se escriben en la segunda parte de este archivo (En el apartado 8.1 se lo identifica como archivo de escritura “nombre3.ext”).
- 9^o registro: (Si el indicador de escritura de resultados para gráficos en el archivo de definición física del sistema es mayor que cero, en otro caso este registro se suprime)
- Nombre del archivo donde se encuentran las especificaciones de gráficos.
- 10^o registro: (9^o registro si no se ha indicado salida de resultados para gráficos. Sólo es necesario si en el archivo de definición del sistema se indica que se quiere salida para balances, en otro caso este registro se suprime)
- Nombre del archivo previsto para escritura de los resultados para procesamientos posteriores: obtención de balances, síntesis, etc.

- 11° registro: (puede ser el 9° o el 10° registro dependiendo de las elecciones del usuario en cuanto a salidas para gráficos y salida para posprocesamiento)
- Nombre del archivo para salidas anuales de resultados parciales de la función objetivo (ha de ser distinto de anteriores nombres de archivo). En el caso de que se defina salida por grupos de años, tal y como se especifica más adelante en el manual, la extensión se sustituye de la misma forma que en el archivo de salidas de resultados anuales. Debe tenerse especial cuidado en este caso para no repetir el nombre dado en el registro 7°.

En todos los casos debe cuidarse la no repetición de nombres de archivos o de dispositivo y han de ser distintos de **DATOS.DAT**. En otro caso puede abortarse la ejecución del modelo, borrarse accidentalmente algún archivo de datos u obtener listados de resultados incompletos y/o mezclados. Todos los nombres pueden tener una longitud máxima de hasta 255 caracteres. En el caso de los archivos de salidas de resultados y de la función objetivo, anuales, los 255 caracteres deben contabilizar una posible extensión adicional de 3 caracteres (si no se hubiera dado esta en **DATOS.DAT** y se hubiera definido salida por grupos de años).

Si los archivos se encuentran en la unidad y camino que asume el sistema por omisión, no será necesario indicar 'path' en el nombre.

7.2. Archivo de datos físicos y de gestión

Este archivo se compone de una sucesión de fichas que guardan el orden siguiente:

- ficha de datos generales del problema
- fichas de embalses (tantas como embalses declarados)
- fichas de conducciones tipo 1 (tantas como conducciones tipo 1 declaradas)
- fichas de conducciones tipo 2 (tantas como conducciones tipo 2 declaradas)
- fichas de conducciones tipo 3 (tantas como conducciones tipo 3 declaradas)
- fichas de conducciones tipo 4 (tantas como conducciones tipo 4 declaradas)
- fichas de conducciones tipo 5 (tantas como conducciones tipo 5 declaradas)
- fichas de demandas de uso consuntivo (tantas como demandas consuntivas declaradas)
- fichas de retornos (tantas como retornos declarados)
- fichas de centrales (tantas como centrales declaradas)
- fichas de recarga artificial (tantas como recargas artificiales declaradas)
- fichas de aportaciones intermedias (tantas como declaradas)
- fichas de acuíferos (tantos como declarados)
- fichas de bombeos adicionales (tantos como declarados)
- fichas de indicadores de alarma (tantas como declarados)
- fichas de importaciones de agua (opcional)

Los datos se encuentran en formato libre en todas las fichas, por lo tanto los alfanuméricos habrán de ir entre comillas (p.e. 'TITULO'), y cada registro es una línea del archivo. Los datos de cada registro van separados por blancos, por comas o por tabulaciones y se utiliza el punto para la definición de decimales.

A continuación se describe la organización de cada una de las fichas.

Como ya se ha indicado, el número de fichas de un elemento que se incluyen en este archivo, ha de corresponder con el número de elementos de ese tipo declarado en la ficha de datos generales. Existe una limitación en cuanto al número de elementos de cada tipo que puede incluirse y que, en principio para la versión 2.00 del modelo, es la recogida en el cuadro siguiente:

Nudos (sin contar nudo final 0).....	300
Embalses	100
Conducciones tipo 1	300
Conducciones tipo 2.....	20
Conducciones tipo 3.....	20
Conducciones tipo 4.....	2
Conducciones tipo 5.....	2
Aportaciones intermedias.....	50
Demandas consuntivas.....	200
Centrales	30
Inst. recarga artificial	110
Acuíferos.....	20
Bombeos adicionales.....	10
Retornos	200
Grupos Isoprioritarios	20
Autovalores (en un acuífero)	30
Acciones elementales (en un acuífero) incluyendo acciones distribuidas y grupos de acciones puntuales...	8
Nº máximo de acciones puntuales en la definición de una acción elemental de acuífero tipo 5 ó 6	5
Parámetros de control (en un acuífero)	10
Indicadores de alarma	10
Columnas archivo de aportaciones.....	150
Columnas archivo evaporaciones.....	100
Tomas por demanda consuntiva	5
Elementos de cada tipo en salida para gráficos.....	300
Nº de entradas en tablas de conducciones de tipo 4 y 5, y de indicadores de alarma.....	10
Nº de entradas de agua importada.....	5

Estos límites se consideran suficientemente amplios como para poder abordar la simulación de cualquier sistema. En caso que se desee, se puede suministrar un ejecutable con límites diferentes de los mencionados. Si los límites se amplían ello se traduce en mayores tamaños de ejecutable.

El archivo de datos físicos comienza con la ficha de **DATOS GENERALES** del problema. Está constituida por 5 registros, que contienen:

1^{er} Registro (1 dato):

- Título n° 1 (hasta 80 caracteres).

2^o Registro (2 datos):

- Número de años de simulación.
- Número del año inicial (p.e. 1940).

3^{er} Registro (5 datos):

- Indicador de eco de datos (Sí=1, No=0). También puede especificarse un 2 en lugar de un 0 o un 1, con lo cual después de la lectura de datos y escritura del eco de datos se detendrá la ejecución del programa. Esto puede servir para revisar los datos sin necesidad de ejecutar el programa.
- Indicador de listado corto (Sólo resumen) (Sí=1, No=0, 100+n). Si se pone un 0 dará un listado extenso, con todos los resultados de todos los meses de la simulación y un resumen final. Si se pone 1 sólo dará el resumen final.
Si se desea salida extensa, por grupos de un mismo número de años, en distintos archivos, este indicador tendrá que valer '100+n', siendo 'n' el número de años en cada grupo. Los nombres de estos archivos se generan a partir del declarado en 'DATOS.DAT', cambiando la extensión: se toman los tres últimos dígitos del primer año de cada grupo. Por ejemplo, el grupo de años hidrológicos 1940-41 a 1944-45 (5 años) quedaría con la extensión '.940'; el siguiente grupo, 1945-46 a 1949-50, quedaría con la extensión '.945'.
- Indicador de salidas de archivos para gráficos (No=0). Si se pone un número distinto de cero se tomará como el máximo número de años de que se quiere salidas para gráficos.
- Indicador de salidas del archivo para balances (Sí=1, No=0).
- Indicador de salidas de función objetivo (Sí=1, No=0, 100+n). Si se desea partir la salida detallada de la función objetivo por grupos de 'n' años, el dato será '100+n', siguiendo el mismo criterio para nombrar los archivos que con las salidas de resultados anuales.

4^o Registro (1 dato):

- Título n° 2 (hasta 80 caracteres)
Tanto el título n° 1 (1^{er} Registro) como el título n° 2 aparecerán en las hojas de listados.

5° Registro (17 datos):

- 1) Número máximo utilizado para numerar nudos del esquema del usuario (No incluye Nudo Final)
- 2) Número de **embalses**
- 3) Número de **conducciones tipo 1**
- 4) Número de **conducciones tipo 2**
- 5) Número de **conducciones tipo 3**
- 6) Número de **conducciones tipo 4**
- 7) Número de **conducciones tipo 5**
- 8) Número de **aportaciones intermedias**
- 9) Número de **demandas consuntivas**
- 10) Número de **centrales hidroeléctricas**
- 11) Número de **recargas artificiales**
- 12) Número de **acuíferos**
- 13) Número de **bombes adicionales**
- 14) Número de **elementos de retorno**
- 15) Numero de **grupos Isoprioritarios**
- 16) Número de **indicadores de alarma**
- 17) Número de elementos de importación de agua

7.2.1. Fichas de **EMBALSES**.

Están constituidas por 13 registros, como se verá a continuación, conteniendo:

1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre (hasta 15 caracteres)

2° Registro (4 datos):

- Número del nudo correspondiente
- Número del nudo de aprovechamiento de vertidos (puede ser el 0 que indica final del sistema)
- Columna de datos de aportaciones (si no hubiera aportación se coloca un 0 en este dato)
- Columna de datos de evaporaciones (si no se considerara serie de evaporaciones se asigna 0 a este dato, en cuyo caso, se trabajará con las medias dadas mas adelante)

3^{er} Registro (1 dato):

- Número de prioridad

4° Registro (5 datos): (el último dato depende del tipo de acuífero al que se infiltra)

- Coeficiente "A" fórmula infiltración (ver apartado 5.5)

- Coeficiente "**B**" fórmula infiltración
- Coeficiente "**C**" fórmula infiltración
- Número del acuífero al que infiltra (si es 0 entonces se supone que la infiltración se pierde fuera del sistema aunque se descuenta del volumen embalsado).
- Número de acción elemental de la infiltración

5° Registro (1 dato):

- Volumen inicial del embalse. (Hm³)

6° Registro (1 dato):

- Caudal máximo (Hm³/mes) de sueltas controladas, incluidas tomas.

7° Registro (12 datos):

- 12 valores de volumen máximo (Hm³)

8° Registro (12 datos):

- 12 valores de volumen objetivo (Hm³)

9° Registro (12 datos):

- 12 valores de volumen mínimo (Hm³)

Los tres registros siguientes constituyen la tabla Cota-Superficie-Volumen del embalse:

10° Registro (10 datos):

- 10 valores de cota (m).

11° Registro (10 datos):

- 10 valores de superficie (Ha)

12° Registro (datos):

- 10 valores de volumen (Hm³)

13° Registro (12 datos):

- 12 valores mensuales de evaporación (mm). Se utilizarán por el modelo en el caso de que el número de columna de evaporaciones sea 0.

7.2.2. Fichas de CONDUCCIONES TIPO 1.

Están constituidas por cuatro registros conteniendo:

1^{er} Registro (4 datos):

- Nombre (hasta 15 caracteres)

- Volumen máximo anual (Hm^3). Si se declara 0 se interpreta que no existe límite anual. Caso de querer anular la conducción se pondría un valor 0.001.
- El indicador de restricción que irá a utilizar.
- Valor 0, 1, 2 o 3 (0 sobre caudal máximo mensual, 1 sobre caudal máximo anual y 2 sobre ambos caudales máximos y 3 sobre caudal mínimo mensual)

2 Registro (5 datos):

- Nudo inicial
- Nudo final (0 indica salida sistema)
- Número de prioridad del caudal mínimo en este tramo
- Indicador de coste de tramo de río (0=No coste, 1=coste unidad o by pass, 2=coste elección usuario)
- Coste del flujo en el tramo de río (sólo se utilizará si el dato anterior fue un 2)

3^{er} Registro (13 datos):

- 12 valores de caudal mínimo (Hm^3/mes)
- Nivel de fallo de $Q_{\text{mín}}$ admisible. Define, en tanto por uno de $Q_{\text{mín}}$, el déficit de $Q_{\text{mín}}$ admisible antes de contabilizar fallo. Si este caudal es 0, por problemas de redondeo, se pueden contabilizar fallos donde no existen. Se aconseja utilizar como valor mínimo 1.

4^o Registro (12 datos):

- 12 valores de caudal máximo (Hm^3/mes)

7.2.3. Fichas de CONDUCCIONES TIPO 2.

Están constituidas por cinco registros, conteniendo:

1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre (hasta 15 caracteres)

2^o Registro (3 datos):

- Nudo inicial
- Nudo final
- Prioridad del caudal mínimo

3^{er} Registro (13 datos):

- 12 valores caudal mínimo (Hm^3/mes)
- Nivel de fallo de $Q_{\text{mín}}$ admisible. Define, en tanto por uno de $Q_{\text{mín}}$, el déficit de $Q_{\text{mín}}$ admisible antes de contabilizar fallo. Si este caudal es 0, por problemas de redondeo, se pueden contabilizar fallos donde no existen. Se aconseja utilizar como valor mínimo 1.

4° Registro (12 datos):

- 12 valores caudal máximo (Hm^3/mes)

5° Registro (5 datos): (el segundo dato depende del tipo de acuífero a que se infiltra)

- Número de acuífero al que van las filtraciones (0 si van fuera del sistema)
- Número de acción elemental (cero si el dato anterior es 0)
- Coeficiente "A" de ley de filtraciones
- Coeficiente "B" de ley de filtraciones
- Coeficiente "C" de ley de filtraciones

7.2.4. Fichas de CONDUCCIONES TIPO 3.

Están constituidas por cinco registros, conteniendo:

1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre (hasta 15 caracteres)

2° Registro (3 datos):

- Nudo inicial
- Nudo final
- Prioridad del caudal mínimo

3^{er} Registro (13 datos):

- 12 valores caudal mínimo (Hm^3/mes)
- Nivel de fallo de $Q_{\text{mín}}$ admisible. Define, en tanto por uno de $Q_{\text{mín}}$, el déficit de $Q_{\text{mín}}$ admisible antes de contabilizar fallo. Si este caudal es 0, por problemas de redondeo, se pueden contabilizar fallos donde no existen. Se aconseja utilizar como valor mínimo 1.

4° Registro (12 datos):

- 12 valores caudal máximo (Hm^3/mes)

5° Registro (4 datos): (Los dos últimos datos dependen de acuífero con el que se conecta la conducción)

- Número de acuífero al que está conectado
- Número de parámetro de control correspondiente a la relación
- Número de acción elemental para compensación de detracciones del río imposibles (válido para acuíferos tipo 1, 5 y 6; para el resto la acción elemental está prefijada).

- Coeficiente entre 0 y 1 para reparto del resultado de conexión del acuífero entre varios tramos tipo 3. La suma de conexiones sobre un parámetro de control de acuífero debe sumar 1.

7.2.5. Fichas de CONDUCCIONES TIPO 4.

Están constituidas por siete registros, conteniendo:

1^{er} Registro (2 datos):

- Nombre (hasta 15 caracteres)
- Caudal máximo anual (Hm^3), (0 para caudal máximo ilimitado).

2^o Registro (5 datos):

- Nudo inicial
- Nudo final
- Número de prioridad del caudal mínimo en este tramo
- Indicador de coste de tramo de río (0=No coste, 1=coste unidad o by pass, 2=coste elección usuario)
- Coste del flujo en el tramo de río (sólo activo si el dato anterior fue un 2)

3^{er} Registro (13 datos):

- 12 valores caudal mínimo (Hm^3/mes)
- Nivel de fallo de $Q_{\text{mín}}$ admisible. Define, en tanto por uno de $Q_{\text{mín}}$, el déficit de $Q_{\text{mín}}$ admisible antes de contabilizar fallo. Si este caudal es 0, por problemas de redondeo, se pueden contabilizar fallos donde no existen. Se aconseja utilizar como valor mínimo 1.

4^o Registro (12 datos):

- 12 valores caudal máximo (Hm^3/mes)

5^o Registro (2 datos):

- Cota de entrada a la conducción (m). Si el nudo de entrada corresponde a embalse este dato no tiene efectos en el cálculo.
- Cota de salida de la conducción (m). Si el nudo de salida corresponde a embalse este dato no tiene efectos en el cálculo.

Los siguientes 3 registros constituyen la tabla altura-caudal instantáneo:

6^o Registro (1 dato):

- Número de valores (n') para relación altura-caudal ($2 \leq n' \leq 10$).

7^o Registro (n' datos):

- Valores de altura (en metros) para la curva altura-caudal.

8° Registro (n' datos):

- Valores de caudal instantáneo (en Hm^3/mes) para la curva altura-caudal.

7.2.6. Fichas de CONDUCCIONES TIPO 5.

Están constituidas por seis registros, conteniendo:

1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre (hasta 15 caracteres)

2° Registro (2 datos):

- Nudo inicial
- Nudo final

3° Registro (2 datos):

- Cota de entrada a la conducción (m). Si el nudo de entrada corresponde a embalse este dato no tiene efectos en el cálculo.
- Cota de salida de la conducción (m). Si el nudo de salida corresponde a embalse este dato no tiene efectos en el cálculo.

Los siguientes 3 registros constituyen la tabla altura-caudal:

4° Registro (1 dato):

- Número de valores (n") para relación altura-caudal ($2 \leq n" \leq 10$).

5° Registro (n" datos):

- n" valores de incremento de altura (m).

6° Registro (n" datos):

- n" valores de caudales instantáneos correspondientes a las diferencias de cota (Hm^3/mes).

7.2.7. Fichas de DEMANDAS DE USO CONSUNTIVO.

Están constituidas por 11 ó más registros, dependiendo del número de tomas, conteniendo:

1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre (hasta 15 caracteres)

2° Registro (12 datos):

- 12 valores demanda total mensual (Hm^3)

3^{er} Registro (7 datos): (los datos, 2^o, 3^o y 5^o dependen de los tipos de acuífero)

- Número de acuífero al que recarga
- Número de acción elemental de la recarga
- Número de acuífero del que bombea
- Número de acción elemental del bombeo
- Número del parámetro de control para test de autorización de bombeo (si es 0 siempre está autorizado el bombeo).
- Valor umbral, del parámetro de control anterior, por debajo del cual no se autorizan bombeos.
- Caudal máximo de bombeo (Hm^3/mes)

4^o Registro (8 datos). Corresponden a los porcentajes de demandas utilizados para el cálculo de las garantías. Por orden son:

- Coeficiente **A**, correspondiente a la garantía mensual.
- Coeficientes **B** y **C** correspondientes a las garantías tipo Planes Hidrológicos.
- Coeficientes **D**, **E** y **F** correspondientes a las garantías tipo "Utah DWR" (F.Estrada, 1991). El establecido en la IPH (2008) para demandas agrícolas.
- Coeficientes **G** y **H** para el cálculo del criterio de garantía establecido en la IPH (2008) para demandas urbanas (en principio 8% y 10%).

Para el significado de estos coeficientes puede verse el apartado 8.1, el archivo "nombre 3.ext". Si a los coeficientes A, B y C se les asigna un valor 0 pueden contabilizarse fallos donde no los hay, esto es debido a fallos en el redondeo, es aconsejable darles un valor mínimo de 1.

5^o Registro (2 datos):

- Número de tomas diferentes (máximo 5)
- Número de elemento de alarma-restricción que se utilizará para simular el ahorro de agua en situación de sequía. Solo se permite elementos tipo 1, 2 o 3 (ver 7.2.14). Si el elemento asignado es de otro tipo se ignora.

Para cada toma: 6 registros, conteniendo:

* 1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre (hasta 15 caracteres)

* 2^o Registro (2 datos):

- Nudo de toma.
- Cota de toma. Este dato tiene efectos en el cálculo cuando el nudo de toma corresponde a embalse.

* 3^{er} Registro (3 datos):

- Dotación anual (Hm^3)
- Coeficiente de retorno (entre 0 y 1)
- Coeficiente de consumo (entre 0 y 1)

- * 4º Registro (3 datos):
 - Número de prioridad.
 - Número de indicador de alarma para restricciones. Si es 0 no hay indicador de alarma asociado a la toma.
 - 1 ó 0 (1 sobre caudal anual y 0 sobre caudal mensual)

- * 5º Registro (1 dato):
 - Número del elemento de retorno usado

- * 6º Registro (12 datos):
 - 12 valores de punta mensual (Hm^3/mes)

7.2.8. Fichas de RETORNOS.

Están constituidas por 2 registros, conteniendo:

- 1º Registro (1 dato):
 - Nombre (hasta 15 caracteres)

- 2º Registro (1 dato):
 - Nudo al que se incorporan. Este no puede ser el nudo final.

7.2.9. Fichas de CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.

Están constituidas por cuatro registros, conteniendo:

- 1º Registro (1 dato):
 - Nombre (hasta 15 caracteres)

- 2º Registro (6 datos):
 - Nudo de toma
 - Nudo de reintegro
 - Caudal mínimo turbinable (Hm^3/mes). Salvo razones en contra, lo mas normal será dejar este valor en cero, pues en caso contrario se daría por supuesto que el turbinado es siempre a caudal constante dentro del mes.
 - Caudal máximo (Hm^3/mes)
 - Número de prioridad
 - Número del indicador de alarma-restricción que se utilizará para reducir los valores de caudal objetivo mensual (si es 0 no se aplica ningún indicador de alarma).

3^{er} Registro (12 datos):

- 12 valores de caudal objetivo (Hm^3/mes)

4^o Registro (3 datos):

- Número de nudo del embalse al que está a pie (0 si es fluyente)
- Salto bruto (m). Para central a pie de presa el dato a introducir es la cota a descontar de la cota de la lámina de agua en el embalse para obtener el salto bruto.
- Coeficiente global de producción de energía eléctrica ($\text{Gwh}/(\text{Hm}^3 \cdot \text{m})$)

5^o Registro (no existe si el primer dato del 4^o registro es 0, o sea, si es una central fluyente) (1 dato):

- Cota mínima de la lámina de embalse para turbinado. No se turbinará nada por la central si la cota media mensual de la lámina de agua resulta inferior al valor introducido.

7.2.10. Fichas de RECARGA ARTIFICIAL.

Están constituidas por dos registros, conteniendo:

1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre (hasta 15 caracteres)

2^o Registro (4 datos):

- Nudo toma
- Número de acuífero
- Número de acción elemental
- Caudal máximo de recarga (Hm^3/mes)

7.2.11. Fichas de APORTACIONES INTERMEDIAS.

Están constituidas por dos registros conteniendo:

1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre (hasta 15 caracteres)

2^o Registro (2 datos):

- Nudo al que se incorporan
- Columna de datos de aportaciones correspondientes (en el archivo de aportaciones)

7.2.12. Fichas de ACUÍFEROS.

Los dos primeros registros son los siguientes:

1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre (hasta 15 caracteres)

2^o Registro (1 dato):

- Indicador de tipo de acuífero.

Si el indicador de tipo de acuífero es mayor que 100 (por ejemplo 101) indica que la lectura de datos del acuífero se hará desde otro fichero, y el tipo de acuífero es de (TIPO-100), por ejemplo si el indicador es 101 el tipo de acuífero es igual a 1. En la segunda línea figurará el nombre del archivo que contiene los datos del acuífero. En este archivo se repiten los registros 1^o y 2^o del archivo de datos generales, y continua en el 3^{er} registro con la estructura que se relaciona a continuación.

Si el tipo de acuífero es igual a 1 (**MODELO GENERAL AUTOVALORES**) las unidades son *m* y *días*, y el resto de la ficha incluye en primer lugar 4 registros más conteniendo:

3^{er} Registro (3 datos):

- Número autovalores
- Número acciones elementales
- Número parámetros de control

4^o Registro (2 datos):

- Número parámetro de control para test de bombeos (Si es 0, entonces no se realiza comprobación)
- Umbral del parámetro de control para el que no se puede bombear

5^o Registro (n_a datos):

- Autovalores (tantos como se ha indicado en el primer dato de tercer registro)

6^o Registro (n_a datos):

- Vector de estados inicial (tantas componentes como número de autovalores)

Para cada acción elemental se incluyen dos registros:

1^{er} Registro de acción elemental (1 dato):

- Nombre de la acción elemental (hasta 15 caracteres)

2^o Registro de acción elemental (n_a datos):

- Columna correspondiente de la matriz de paso de intensidades de acciones elementales a vector de estados

Para cada parámetro de control se incluyen dos registros:

1^{er} Registro de parámetro de control (1 dato):

- Nombre del parámetro de control (hasta 15 caracteres)

2^o Registro (n_a datos):

- Fila correspondiente de la matriz de transformación del vector de estados a vector de parámetros de control

Si el tipo de acuífero es igual a 2 (**MODELO UNICELULAR**) el resto de la ficha incluye dos registros:

3^{er} Registro (2 datos):

- Número parámetro control para test de bombeos (ha de ser 1 (Volumen) ó 2 (Caudal). (Si es 0 no se realiza comprobación)
- Umbral parámetro control por debajo del cual no bombea (en Hm^3 si el dato anterior es =1, y en Hm^3/mes si el dato anterior es =2).

4^o Registro (2 datos):

- Valor de a (en mes^{-1})
- Valor de volumen inicial (Hm^3) (0 si procedemos por superposición)

Si el tipo de acuífero es igual a 3 (**MODELO MANANTIAL**) el resto de la ficha incluye 3 registros:

3^{er} Registro (2 datos):

- Número parámetro control para test bombeos (ha de ser =1 (Volumen) ó 2 (Caudal). (Si es nulo no se realiza comprobación).
- Umbral parámetro control por debajo del cual no bombea (en Hm^3 si el dato anterior es =1, y en Hm^3/mes si el dato anterior es =2)

4^o Registro (2 datos):

- Valor de α (mes^{-1})
- Valor de volumen inicial (Hm^3) (0 si procedemos por superposición)

5^o Registro (12 datos):

- 12 valores de caudal aforado (Hm^3/mes)

Si el tipo de acuífero es igual a 4 (**MODELO DEPÓSITO**) el resto de la ficha incluye 3 registros:

3^{er} Registro (2 datos):

- Número parámetro control para test de bombeos (ha de ser igual a 1). (Si es 0 no se realiza comprobación).
- Umbral parámetro control por debajo del cual no bombea (Hm^3)

4° Registro (1 dato):

- Volumen inicial (Hm^3)

5° Registro (12 datos):

- 12 valores recarga por lluvia (Hm^3/mes)

Si el tipo de acuífero es igual a 5 (**RECTANGULAR-HOMOGÉNEO CON UN RÍO**) el resto de la ficha contiene los siguientes registros:

3^{er} Registro (1 dato):

- Número de acciones elementales

4° Registro (2 datos):

- Número de parámetro de control para test de bombeo (0=siempre se permite, 1=volumen, 2=salidas al río)
- Umbral del parámetro de control por debajo del cual no bombea (las unidades dependen del dato anterior pero siempre m^3 y días)

5° Registro (5 datos):

- Transmisividad T_X en la dirección del eje X ($\text{m}^2/\text{día}$)
- Transmisividad T_Y en la dirección del eje Y ($\text{m}^2/\text{día}$)
- Coeficiente de almacenamiento S
- Longitud L (m)
- Longitud D (m)

6° Registro (15 datos):

- Componentes del vector de estado inicial definido en 5.9.5 (todas nulas si se supone superposición)

Para cada acción elemental dos registros. El primero incluye:

1^{er} Registro (2 datos):

- Nombre (hasta 15 caracteres).
- Tipo (1=grupo de acciones puntuales; 2=distribuida en un rectángulo)

Si es del tipo 1 el siguiente registro incluye:

2° Registro:

- Número de acciones puntuales agrupadas
- y tantos tríos de números como el dato anterior donde se tienen:
- Coordenada X_k de la acción (m)
 - Coordenada Y_k de la acción (m)
 - Peso P_k de la acción (la suma de los pesos será la unidad siendo todos positivos)

Si es del tipo 2 el siguiente registro tiene:

2º Registro (4 datos):

- Coordenada XG_k del centro del rectángulo (m)
- Coordenada YG_k del centro del rectángulo (m)
- Longitud LX_k del lado paralelo al eje X (m)
- Longitud LY_k del lado paralelo al eje Y (m)

Si el tipo del acuífero es igual a 6 (**RECTANGULAR-HOMOGENEO CON DOS RÍOS**) el resto de la ficha contiene exactamente los mismos datos que cuando es de tipo 5 pero hay que diferencias en los siguientes registros:

4º Registro (2 datos):

- Número de parámetro de control para test de bombeo (0=siempre se permite, 1=volumen, 2=salidas al río, 3=salidas por $X=L$, 4=salidas por $Y=D$)

6º Registro (15 datos):

- Componentes del vector de estado inicial tendrá una definición tal y como se recoge en el apartado 5.9.6.

Si el tipo de acuífero es igual a 7 (**ACUÍFERO MANANTIAL MULTICELDA**) el resto del contenido de la ficha es el siguiente:

3º Registro (2 datos)

- Nº de celdas del modelo
- Nº acciones exteriores sobre el acuífero

4º Registro (2 datos)

- Parámetros de control para el test de bombeos
- Valor umbral

5º Registro (tantos datos como número de celdas)

- Valores de α (mes⁻¹)

6º Registro (tantos datos como número de celdas)

- Volumen inicial en las celdas(Hm³)

7º Registro

- Nombre de la acción elemental para la recarga uniforme

8º Registro (tantos datos como número de celdas)

- Coeficiente de reparto de la recarga uniforme (0 a 1)

A continuación se repiten los registros 7° y 8° una vez para cada acción exterior declarada, aparte de la recarga uniforme.

Si el tipo de acuífero es igual a 11 (**ACUÍFERO DE TRES NIVELES**) el resto del contenido de la ficha es el siguiente:

3° Registro (2 datos)

- Número de parámetro de control para test de bombeo (0=siempre se permite, 1=caudal con río, 2=caudal con azarbe, 3=Evaporación, 4=volumen)
- Valor umbral

4° Registro (14 datos)

- Valor del α río (en mes^{-1})
- Valor del α Azarbe (en mes^{-1})
- 12 Valores del α de Evaporación (en mes^{-1})

5° Registro (3 datos)

- Valor de volumen entre río y azarbe (Hm^3)
- Valor de volumen entre azarbes y evaporación (Hm^3)
- Valor de volumen inicial (Hm^3)

6° Registro (10 datos)

- 12 valores recarga histórica (Hm^3/mes)

7.2.13. Fichas de **BOMBEO ADICIONALES**.

Constan de dos registros conteniendo:

1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre (hasta 15 caracteres)

2° Registro (8 datos): (el 2° y 3^{er} datos dependen del tipo de acuífero)

- Número de acuífero del que bombea
- Número de acción elemental
- Número del parámetro de control para test de autorización de bombeo (si es 0 siempre está autorizado el bombeo)
- Valor umbral, del parámetro de control anterior, por debajo del cual no se autorizan bombeos
- Caudal máximo a bombear (Hm^3/mes)
- Nudo al que se incorpora.
- Número del grupo isoprioritario que lo hace actuar.
- Nivel de suministro máximo para que actúe.

Por ejemplo para los dos últimos datos si se ha declarado un 4 y 0.8 quiere decir que cuando en el grupo isoprioritario 4 se tenga que el suministro superficial supera al 80% de la demanda no tendrá lugar un bombeo adicional, y sí que tendrá lugar si el suministro baja del 80% de la demanda.

7.2.14. Fichas de INDICADORES DE ALARMA-RESTRICCIÓN.

Constan de cinco registros conteniendo:

1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre del indicador

2^o Registro (6 datos):

- Opción de tipo de regla (1 a 5)
- Opción de tipo de decisión (1 o 2)
- Número de elementos (embalse o aportación) incluidos en el indicador (ne)
- número de meses del año en que se calcula la regla de operación (solo se usa si el 2^o dato es 3). En principio este valor siempre será 1.
- Valor 1 o 2 según se calcule sobre embalses o sobre aportaciones.
- Número de meses hacia atrás para los que acumula las aportaciones.

3^{er} Registro (ne datos):

- número de identificación de cada uno de los embalses considerados.

Las 3 líneas siguientes se repiten tantas veces como número de meses sea necesario definir la regla de operación. En las opciones de tipo de regla 1 y 4 solo una vez, las opciones 2 y 5 siempre 12 veces, y la opción 3 tantas veces como diga el dato 4 del 2^o registro.

4^o Registro (2 datos):

- número de mes en que se calcula la siguiente regla de operación (1 = octubre).
- número de datos válidos de la curva siguiente (nd).

5^o Registro (10 datos):

- 10 valores de volumen de referencia (solo serán válidos los nd primeros datos).

6^o Registro (10 datos):

- 10 valores de coeficientes a aplicar de 0 a 1 (solo serán válidos los nd primeros datos).

7.2.15. Fichas de IMPORTACIONES DE AGUA.

Constan de dos registros por cada elemento de importación de agua, conteniendo:

1^{er} Registro (1 dato):

- N° de nudo del sistema al que se incorpora el agua importada.

2° Registro (tantos datos como meses de simulación):

- Caudal importado (hm^3) en cada mes de la simulación.

7.3. Archivo de datos para gráficos.

Opcional. La versión actual del interface no escribe este archivo de datos.

Este archivo define los resultados que se escribirán en los archivo de resultados ordenados para gráficos nombrados con la extensión PRN. En versiones antiguas, la utilidad de este archivo estaba en el ahorro de espacio en disco al seleccionar solo los resultados que se deseaba utilizar. Con las características actuales de los ordenadores esta medida no es necesaria, por lo que se ha agregado el archivo de resultados “tabla.txt” que contiene todos los resultados del modelo.

Si el indicador de gráficos del archivo de **datos físicos** (3ª línea, 3er. dato) es igual a 1 entonces es necesario proporcionar un archivo cuya denominación ha de especificarse en el archivo de datos de archivos (7ª línea). Este archivo determina los resultados que se escribirán en archivos de resultados mensuales separados por tipos de elementos. Estos archivos de resultados se describen en 8.2.

El contenido de las especificaciones para gráficos tendrá el siguiente formato:

Los 3 primeros registros corresponden a embalses:

- 1^{er} Registro:** No se lee, queda libre para comentario.
- 2^o Registro:** Número de embalses de los que se quiere salida. (máximo 300)
- 3^{er} Registro:** Números de los embalses de que se quiere salida. Se dejará en blanco si en el registro anterior se puso un 0.

Los 3 siguientes registros corresponden a conducciones tipo 1:

- 4^o Registro:** No es leído.
- 5^o Registro:** Número de tramos de río tipo 1 de los que se quiere salida. (máximo 300)
- 6^o Registro:** Números de los tramos de río tipo 1 de los que se quiere salida.

Los 3 siguientes registros corresponden a conducciones tipo 2:

- 7^o Registro:** No se lee.
- 8^o Registro:** Número de tramos de río tipo 2 de los que se quiere salida. (máximo 300)
- 9^o Registro:** Números de los tramos de río tipo 2 de los que se quiere salida.

Los siguientes registros corresponden a conducciones tipo 3:

- 10^o Registro:** No se lee.
- 11^o Registro:** Número de tramos de río tipo 3 de los que se quiere salida. (máximo 300)
- 12^o Registro:** Números de los tramos de río tipo 3 de los que se quiere salida.

Los siguientes registros corresponden a conducciones tipo 4:

- 10° **Registro:** No se lee.
- 11° **Registro:** Número de conducciones de tipo 4 de las que se quiere salida. (máximo 300)
- 12° **Registro:** Números de las conducciones de tipo 4 de las que se quiere salida.

Los siguientes registros corresponden a conducciones tipo 5:

- 10° **Registro:** No se lee.
- 11° **Registro:** Número de conducciones de tipo 5 de las que se quiere salida. (máximo 300)
- 12° **Registro:** Números de las conducciones de tipo 5 de las que se quiere salida.

Los 3 siguientes registros corresponden a demandas consuntivas:

- 13° **Registro:** No se lee.
- 14° **Registro:** Número de demandas de las que se quiere salida. (máximo 300)
- 15° **Registro:** Números de las demandas de las que se quiere salida.

Los 3 siguientes registros corresponden a demandas no consuntivas:

- 16° **Registro:** No se lee.
- 18° **Registro:** Número de demandas de las que se quiere salida. (máximo 300)
- 19° **Registro:** Números de las demandas de las que se quiere salida.

Los 3 siguientes registros corresponden a bombeos adicionales:

- 20° **Registro:** No se lee.
- 21° **Registro:** Número de bombeos adicionales de los que se quiere salida. (máximo 300)
- 22° **Registro:** Sus números.

Los 3 siguientes registros corresponden a recargas artificiales:

- 23° **Registro:** No es leído
- 24° **Registro:** Número de recargas artificiales de las que se quiere salida. (máximo 300)
- 25° **Registro:** Números de las recargas.

Los 3 siguientes registros corresponden a parámetros de control:

- 26° **Registro:** No es leído.
- 27° **Registro:** Número de parámetros de control de los que se quiere representación. (máximo 300)
- 28° **Registro:** Tantos pares de números como el valor en el registro anterior. Cada par esta formado por: número de acuífero, número del parámetro de control.

Los 3 siguientes registros corresponden a recargas netas de acuíferos:

- 29° **Registro:** No es leído.

30° Registro: Número de acuíferos para los que se quiere salida de recarga neta. (el número máximo está determinado por la suma de este número y el dado en el registro 33, que no debe superar 300)

31° Registro: Números de los acuíferos.

Los 3 últimos registros corresponden a bombeos de acuíferos:

32° Registro: No es leído.

33° Registro: Número de acuíferos para los que se quiere salida de bombeos. (ver máximo en explicación del registro 30)

34° Registro: Números de los acuíferos.

Siempre se considera que se quiere salida de todos los indicadores de alarma del sistema.

7.4. Archivo de datos de aportaciones.

Constará de los siguientes registros:

1^{er} Registro (1 dato):

- Nombre del tipo de datos del archivo. Siempre será "APORTACIONES" (incluidas las comillas).

2^o Registro (1 dato):

- Título (hasta 20 caracteres)

3^{er} Registro (1 dato):

- Título 2 (hasta 20 caracteres)

4^o Registro (1 dato):

- Número de columnas de aportaciones (a).

5^o Registro (2+a datos):

- Texto "AÑO"
- Texto "MES"
- Nombres (entre "") de las (a) aportaciones.

6^o Registro en adelante (2+a datos):

- Número de año (con sus 4 dígitos).
- Número de mes (del 1: Enero al 12: Diciembre).
- (a) datos separados por espacios en blanco conteniendo la aportación (en Hm^3/mes) correspondiente al mes y año del registro y el elemento de aportación de la columna indicado en el 5^o registro.

Los registros de datos de aportaciones han de ser consecutivos y contener el periodo de simulación definido en el archivo de datos físicos. En caso contrario el programa dará error de lectura en este archivo.

7.5. Archivo de datos de evaporaciones.

La estructura del archivo será igual que la del archivo de datos de aportaciones, salvo en el primer registro. Debe contener "EVAPORACIONES". El contenido son las series de evaporaciones específicas.

7.6. Archivo de datos de costos ficticios.

Este archivo sólo será modificado si se está familiarizado con el funcionamiento del modelo y se desea modificar la gestión en cuanto a alterar prioridades. Para ello tendrá que estudiarse en profundidad el comportamiento de la función objetivo descrita en el apartado 6.1 y tener en cuenta lo expuesto en los apartados 6.2 y 6.3.

Con el modelo se suministra el archivo que se lista a continuación. Es autoexplicativo ya que incluye la definición de cada uno de los datos de acuerdo con la notación empleada en el apartado 6.1.

Listado del archivo:

```
* COSTOS EMBALSES
  KD      K4      K3      K2      K1      CV
  2000.   -700.  -1000. -1100.  -1700.  2000.
* COSTOS CONDUCCIONES TIPO 1
  KD
  2000.
* COSTOS CONDUCCIONES TIPO 2
  CFi     KD
  2100.   2000.
* COSTOS CONDUCCIONES TIPO 3
  CFi     KD
  2100.   2000.
* COSTOS CONDUCCIONES TIPO 5
  CF5i
  1800.
* DEMANDAS DE USO CONSUNTIVO
  CTC     CK      CDC
  750.    750.    5.
* CENTRALES
  CKN     -CS     CDN
  1500.   -5.     5.
* RECARGA ARTIFICIAL
  CR
  -5.
```

En este archivo se puede incluir información adicional que altera el funcionamiento y/o salidas de resultados del modelo. Existen varias posibilidades de las que se pueden utilizar varias a la vez. Cada una de ellas funciona incluyendo una o varias líneas adicionales de la siguiente forma:

- Consideración del año hidrológico propio de países del hemisferio sur:
JL AG S O N D E F M A MY JN
Hay que introducir una línea adicional con el rótulo **HEMISUR**, en mayúsculas y empezando en la primera columna.
- Opciones de salida de archivos de resultados. Existen dos posibilidades adicionales a la salida que, por defecto, produce el modelo.
 - Ambas se especifican con una primera línea en que se coloca la palabra **CODCOL**, empezando en la primera columna y en mayúsculas.
 - En la línea inmediatamente siguiente se admiten dos opciones:
 - 0: La salida se limita a 132 columnas con códigos de impresión propios de los formatos del lenguaje de programación FORTRAN ('0','1',' ' y '+'). El número de decimales se reduce con respecto a la salida por defecto.
 - 1: Es idéntica a la anterior pero sin códigos de impresión de FORTRAN.
 - 2: (Por defecto) Como la anterior pero con escritura de 3 decimales.
- Conversión a números enteros para la optimización. Se especifica cuantos decimales se desea mantener en el cálculo. Por defecto el modelo trabaja con tres decimales pudiéndose ampliar a 4 o reducirse a 2.
 - Se incluye una primera línea con el rotulo **CODCONV**, empezando en la primera columna y en mayúsculas.
 - En la línea siguiente se admiten tres posibilidades:
 - 2: Se trabaja con dos decimales.
 - 3: (por defecto) Se trabaja con tres decimales.
 - 4: Se pasa a trabajar con cuatro.

El incremento del número de decimales solo es necesario en casos en que se este trabajando con valores próximos al número mínimo de precisión
- Configuración Para que el programa se cierre al terminar sin esperar la confirmación del usuario. Se incluye una línea con el código **CODFIN** y una segunda línea con el valor 1. Esto suele ser necesario cuando se utiliza el programa dentro de un proceso con múltiples simulaciones.

Existen otras posibilidades destinadas al análisis de problemas en la red interna del modelo o a la modificación de los criterios de convergencia, número de iteraciones, etc. No se describen aquí debido a que no tienen ninguna utilidad sin un perfecto conocimiento del funcionamiento interno del modelo. En cualquier caso, si se detectaran problemas de funcionamiento del modelo que requirieran la intervención de los autores de este, podría solicitarse al usuario la inclusión de alguna opción adicional para estudiar los flujos en la red interna o modificar los criterios de convergencia.

7.7. Archivo para modificar datos contenidos en el archivo de datos físicos.

Este archivo no es necesario para el funcionamiento del modelo. Se permite su utilización, porque en algunas ocasiones ha sido necesario definir datos para el modelo sin incluirlos en el archivo de datos físicos. Principalmente cuando se trabaja con la interface gráfica SIMWIN y se pretende incluir datos que aquella no permite.

Se incluiría en el directorio del modelo con el nombre "Simges.avz". Es necesario llevar un especial cuidado al cumplimentar estos datos para evitar errores de diseño de los esquemas de simulación. También hay que tener la precaución de borrar el archivo del directorio de trabajo cuando ya no se necesiten estos datos, porque de olvidarse, se estaría trabajando con datos diferentes a los previstos. Solo permite la introducción de datos con el detalle que se describe a continuación.

Este archivo esta estructurado mediante etiquetas identificativas de los datos que activarán la lectura correspondiente. Solo serán requeridos los datos relativos a las etiquetas que aparecen en este archivo.

Datos de indicadores de alarma-restricción.

Línea 1: texto

[ALARMA-RESTRICCION]

Línea 2: (1 dato)

Número de restricciones que se modifican

A continuación van tantos grupos de datos (2+24=26 líneas) como número de restricciones que se modifican según el dato anterior.

Línea 1: (1 dato)

Número de posición que ocupa el indicador de alarma-restricción en el archivo de datos físicos.

Línea 2: (12 datos)

Número de datos (n_i) de alarma-restricción que se va a leer para cada mes (1º mes de octubre, 4º mes de enero, ...)

A continuación van 12 pares de líneas, un par para cada mes empezando en octubre (total 24 líneas).

Línea 1: ((n_i) datos)

Datos de volúmenes en hm^3 para la definición de restricciones (ordenados de menor a mayor)

Línea 2: ((n_i) datos)

Datos de coeficiente de restricción (entre 0 y 1) correspondientes a cada uno de los volúmenes anteriores.

Datos de demandas variables.

Haciendo uso de esta ficha se puede generar la entrada series de datos de demandas variables durante todo el periodo histórico. En esta ficha se definen e identifican las demandas que se tendrán valores variables en todo el periodo histórico, y sus valores se introducirán en un segundo archivo, que tendrá un formato similar a los ya descritos de aportaciones y evaporaciones. Hay que recordar que estas fichas solo permiten la entrada de datos variables para los elementos 'demanda', mientras que los elementos 'toma' mantendrán los datos introducidos en el archivo de datos físicos. Esto significa que en aquel archivo los datos de la capacidad de toma deberán ser definidos con un valor mensual superior al de la máxima demanda definida para cada mes, en caso contrario podrían generarse déficits de suministro artificiales.

A continuación se describe el contenido de esta ficha:

Registro 1: Etiqueta.

- Texto: [DEMANDA_VARIABLE]

Registro 2 (1 dato):

- Número de demandas variables (ndv).

Registro 3°. (1 dato):

- Nombre del archivo donde se encuentran las series de datos de demanda.

Registro 4° (ndv datos)

- Cada dato contiene el número de posición que ocupa cada demanda en el archivo de datos físicos.

Registro 5° (ndv datos)

- Cada dato contiene el número de columna que ocupa en el archivo de datos de demanda la demanda correspondiente a la posición indicada en el registro anterior.

Archivo de datos de demanda.

La estructura del archivo será igual que la del archivo de datos de aportaciones, salvo en el primer registro. Debe contener "DEMANDAS". El contenido son las series de demandas mensuales que se utilizarán para la simulación en lugar de las demandas constantes definidas en el archivo de datos físicos.

8. RESULTADOS.

El modelo **SIMGES** proporciona resultados a través de ficheros ASCII. Los ficheros que produce se describen a continuación. El modelo produce un archivo cuyo nombre es '**SIMGES.ERR**', que se sitúa en el directorio de trabajo, donde quedan registradas las fechas y horas de inicio y fin de las simulaciones efectuadas. También en este archivo se incluyen posibles mensajes de error del modelo. Estos se describen mas adelante.

8.1. Archivos para escritura.

Tres archivos son destinados a poder ser posteriormente escritos por impresora o incorporados, con procesador de textos, a un informe:

"nombre1.ext" donde *nombre1.ext* es el nombre de archivo declarado en el **archivo de datos para lectura y escritura** correspondiente al **eco de datos** (por ejemplo ECODAT.SAL). Sólo se produce este archivo si se ha dado un 1 ó un 2 a la opción de eco de datos del archivo de datos físicos. El archivo producido contiene una repetición de los datos introducidos como datos físicos y de gestión, pero expuesto de forma ordenada y clara. El número de columnas es elevado. Mediante las opciones descritas en el apartado 7.6 puede reducirse a 132 columnas.

"nombre2.ext" donde *nombre2.ext* es el nombre de archivo declarado en el **archivo de datos para lectura y escritura** correspondiente a la **salida anual** (por ejemplo SALANU.SAL). El archivo producido contiene el tamaño de la red generada, las iteraciones que se han realizado en cada mes de cada año simulado y, si se ha dado la opción 0 en el dato de "listado resumido" del archivo de datos físicos, los valores de todas las variables de interés para cada mes de la simulación organizada por años hidrológicos. Así, para cada año se tiene:

- En primer lugar los valores de las **aportaciones intermedias** con su total anual.
- Para todos los **embalses** las aportaciones intermedias, la aportación proveniente de la parte de sistema que lo precede, el volumen y la cota de la lámina de agua a fin de mes, los desembalses controlados (sueltas) y los vertidos, la evaporación y filtraciones. Todo ello son valores mensuales, así como el total anual.
- Para los tramos de **río tipo 1** confecciona una tabla con el caudal circulado (caudal saliente) y el total anual.

- Para los tramos de **río tipo 2** da, además del caudal saliente, los volúmenes filtrados mensualmente y el total anual.
- Para los tramos de **río tipo 3** da, además del caudal saliente, los valores de la relación río acuífero (pérdidas si son positivos y ganancias si son negativos).
- Para las **conducciones de tipo 4** se tienen los caudales circulados, el total anual y los máximos que podrían haber circulado en cada mes como consecuencia de las condiciones hidráulicas.
- Para las **conducciones de tipo 5** se dan los caudales circulados cada mes y el total anual.
- Para las **demandas de uso consuntivo** repite el valor de la dotación, da el suministro superficial, el suministro subterráneo y el déficit. El suministro superficial es detallado por tomas.
- Para los **elementos de retorno** se dan sus totales mensuales y el total anual.
- Para las **centrales** repite el valor del caudal objetivo, da el valor del caudal turbinado, del salto bruto y de la producción.
- Para los **bombeos** adicionales confecciona una tabla con los volúmenes mensuales bombeados y el total anual.
- Para las **recargas artificiales** se dan los resultados mensuales y el total anual.
- Para los **acuíferos** se obtienen los valores de recarga neta mensual (Recarga menos bombeos), bombeos mensuales, y los valores mensuales de los parámetros de control.
- Para los **Indicadores de Alarma** del sistema da los valores del volumen en cada grupo de embalses y los coeficientes de restricción correspondientes. Son valores para cada mes.

"nombre3.ext" donde *nombre3.ext* es el nombre declarado en el **archivo de datos para lectura y escritura** para el archivo que contendrá el **resumen del horizonte simulado** (p.ejemplo RESUMEN.SAL). Este archivo se tiene siempre. Contiene los valores medios de los resultados mencionados en el punto anterior. Además contiene:

- **Para embalses:** el número de llenados y vaciados, en valor absoluto y en tanto por ciento.

- **Para conducciones** (salvo las de tipo 5): el número de fallos de caudal mínimo (un fallo es un mes sin llegar al caudal mínimo, teniendo en cuenta el nivel de fallo definido para cada conducción), y la garantía mensual, calculada como:

$$G = \left(1 - \frac{n^{\circ} \text{ de fallos}}{n^{\circ} \text{ de meses totales}} \right) 100 \quad (8.1)$$

Donde el número de fallos se suma como el número de meses con fallo, considerando fallo cuando el déficit sobre el caudal mínimo supera nivel de fallo de $Q_{\text{mín}}$ admisible.

- **Para demandas de uso consuntivo** se da varios resultados de garantía el número de meses con fallo, donde, al igual que para conducciones, se considera que hay fallo en un mes si el déficit es mayor que A% de la demanda mensual, siendo A el dato declarado en la línea de garantía de la demanda),

la garantía mensual calculada con la misma fórmula anterior (8.1)

la garantía volumétrica, calculada como:

$$G_v = \frac{\text{volumen suministrado}}{\text{volumen total demandado}} 100 \quad (8.2)$$

el máximo déficit en un mes y el máximo déficit en dos meses consecutivos.

También se da el número de fallos según un criterio de tipo anual (Planes Hidrológicos), así como la garantía correspondiente. Esta garantía cuenta como fallos aquellos años en que se da una de las dos circunstancias siguientes:

- . En algún mes el déficit supera el **B**% de la demanda mensual.
- . El déficit en un año supera el **C**% de la demanda anual.

Además, se determina la garantía según un criterio similar al del "Utah DWR" (F.Estrada, 1991) que considera como fallo cuando se produce una de las tres circunstancias siguientes:

- . El déficit en un año supera el **D**% de la demanda anual.
- . El déficit en dos años consecutivos supera el **E**% de la demanda anual.
- . El déficit en diez años consecutivos supera el **F**% de la demanda anual.

Valores de 50, 75 y 100 en D, E y F darán el cumplimiento del criterio de garantía de la IPH,2008 para demandas agrarias.

También da el valor del déficit en cada uno de los 3 criterios anteriores en % de la demanda anual.

El criterio fijado para demandas urbanas en la IPH,2008 dice que CUMPLE si el déficit no supera en un mes el 8% de la demanda ni en 10 años el 10% de la demanda anual. En el programa estos umbrales son opcionales y se incluyen en la ficha de demandas.

También proporciona el número de fallos en cada criterio.

Para el caso de análisis de una demanda que se ha introducido con valores diferentes en cada año se computarán de igual manera los criterios de garantía con periodo de valoración inferior a un año, teniendo en cuenta el valor real de la demanda en cada mes o año. Y para los criterios de garantía de cómputo superior al año se tomará como referencia el valor medio de la demanda en dicho periodo.

Para el caso de demandas en que se ha asignado una regla de operación (ver. 5.11) como medida de “ahorro” de agua. Se presentará los mismos resultados de garantía calculados sobre la demanda base de cálculo y sobre la demanda resultante de aplicar la regla de operación.

8.2. Archivos de resultados ordenados para hojas de cálculo.

Los archivos que se mencionan a continuación los produce el modelo **SIMGES** en ASCII de forma que puedan ser importados por hojas de cálculo (Lotus 123, Excel, Quatro Pro). Tienen la extensión .PRN, y los alfanuméricos van entre comillas. Se crean siempre y cuando, en el archivo de datos para gráficos se hayan pedido y en el archivo de datos físicos el indicador correspondiente sea mayor que cero.

Hay 13 tipos de archivos correspondientes a los distintos tipos de elementos, a la salida de totales de bombeo y recarga a acuíferos, y a los indicadores de alarma. Se describen a continuación (en lo que sigue 'N' es el número de años de los que se han escrito resultados para gráficos). También hay un archivo que se describe al final y que contiene todos los resultados de la simulación, independientemente de las opciones para gráficos seleccionadas.

EMBALSES.PRN: Contiene **resultados de embalses**. La estructura es la siguiente:

1^{er} Registro (1 dato):

- Número de años de simulación, "título del problema".

Los registros que siguen contienen cada uno tantos datos como embalses especificados para salida de gráficos (máximo 300).

2^o Registro (máximo 300 datos):

- Encabezamiento de columnas. Contiene los nombres de los embalses de las columnas respectivas.

3^o a 14^o Registros (máximo 300 datos):

- En cada fila los valores de volumen mínimo correspondientes a los embalses de las columnas respectivas para los meses 1 (Registro 3) a 12 (Registro 14).

15^o a 26^o Registros (máximo 300 datos):

- En cada fila los valores de volumen máximo correspondientes a los embalses de las columnas respectivas para los meses 1 (Registro 15) a 12 (Registro 26).
- 27° a 38° Registros (máximo 300 datos):
- En cada fila los valores de volumen objetivo correspondientes a los embalses de las columnas respectivas para los meses 1 (Registro 27) a 12 (Registro 38).
- 39° Registro (máximo 300 datos):
- Valores del volumen inicial para los respectivos embalses.
- 40° a 39+(Nx12)° Registros (máximo 300 datos):
- Los volúmenes finales de los embalses para todos los meses de la simulación, del 1 (Registro 40) al Nx12 (Registro 39+(Nx12)°).
- 40+(Nx12)° a 51+(Nx12)° Registros (máximo 300 datos):
- Los valores medios para el período simulado de los volúmenes finales para cada mes del año, desde Octubre (Registro 40+(Nx12)°) a Septiembre (Registro 51+(Nx12)°).

EVAPO.PRN: Contiene **resultados de evaporación de embalses**. La estructura es la siguiente:

- 1^{er} y 2° Registros.
- Similares a lo indicado en EMBALSE.PRN.
- 3° a 2+(Nx12)° Registros (máximo 300 datos):
- Valores mensuales evaporados en el embalse correspondiente a la cada columna.

EMBFILT.PRN: Contiene **resultados de filtraciones de embalses**. La estructura es la siguiente:

- 1^{er} Registro.
- Similar a lo indicado en EMBALSE.PRN.
- 2° Registro (1 dato).
- Título 2 del problema.
- 3^{er} a 5° registros.
- libres.
- 6° registro.

- Nombre de cada embalse en el orden en que aparecerán los datos.

7° a 6+(Nx12) registros. (máximo 300 datos):

- Los caudales infiltrados desde cada embalse en cada mes de la simulación.

CONDUC1.PRN: Contiene los **resultados de las conducciones tipo 1** que se hayan seleccionado para aparecer en este archivo. La estructura es la siguiente:

1° y 2° Registros (1 dato c/u):

- Similares a lo indicado en EMBALSE.PRN.

3° a 14° Registros (máximo 300 datos):

- En cada fila los valores de los caudales mínimos mensuales declarados para los meses 1 (Registro 3) a 12 (Registro 14).

15° a 26° Registro (máximo 300 datos):

- En cada fila los valores los caudales máximos mensuales declarados para los meses 1 (Registro 15) a 12 (Registro 26).

27° a 26+(Nx12)° Registros (máximo 300 datos):

- Los caudales circulados en cada mes de la simulación, del 1 (Registro 27) al Nx12 (Registro 26+(Nx12)°).

27+(Nx12)° al 38+(Nx12)° Registros:

- Los valores medios mensuales del caudal para cada mes del año, desde Octubre (Registro 40+(Nx12)°) a Septiembre (Registro 51+(Nx12)°).

CONDUC2.PRN: Similar a CONDUC1.PRN, pero para las **conducciones de tipo 2**.

COND2FIL.PRN: Contiene los **resultados de filtraciones las conducciones tipo 2** que se hayan seleccionado para aparecer en este archivo. La estructura es similar a EMBFILT.PRN.

CONDUC3.PRN: Similar a CONDUC1.PRN, pero para las **conducciones de tipo 3**.

COND3FIL.PRN: Contiene los **resultados de filtraciones las conducciones tipo 3** que se hayan seleccionado para aparecer en este archivo. La estructura es similar a EMBFILT.PRN.

CONDUC4.PRN: Contiene los resultados de las **conducciones de tipo 4** seleccionadas y los máximos que podrían haber circulado por estas:

- 1° y 2° Registros:
 - Similares a lo indicado en EMBALSE.PRN.
- 3° a 14° Registros:
 - contienen los caudales mínimos mensuales declarados.
- 15° a 26° Registros:
 - contienen los caudales máximos mensuales declarados.
- 27° a 26+(Nx24)° Registros:
 - son pares de registros que contienen los caudales circulados en cada mes de la simulación y los máximos que podrían haber circulado dadas las cotas de los extremos.
- 27+(Nx24)° al 50+(Nx24)° Registros:
 - son pares de registros que contienen los valores medios mensuales del caudal y los medios de los máximos posibles.

CONDUC5.PRN: Contiene los resultados de las **conducciones de tipo 5** seleccionadas.

- 1° y 2° Registros:
 - son similares a lo indicado en EMBALSE.PRN.
- 3° a 2+(Nx12)° Registros:
 - contienen los caudales circulados en cada mes de la simulación.
- 3+(Nx12)° al 14+(Nx12)° Registros:
 - contienen los valores medios mensuales del caudal.

DEMANDAS.PRN: Contiene los resultados de aquellas **demandas de uso consuntivo** que se haya especificado para aparecer en este archivo. La estructura es la siguiente:

- 1° y 2° Registros:
 - son similares a lo indicado en EMBALSE.PRN.
- 3° a 14° Registros:
 - contienen los valores de la demanda mensual de la zona correspondiente.
- 15° a 26° Registros:

-
- contienen los valores de las puntas mensuales correspondientes a la toma 1 de la zona.
- 27° a 38° Registros:
- contienen los valores de las puntas mensuales correspondientes a la toma 2 de la zona (si no la hubiere se encontrarían ceros).
- 39° a 50° Registros:
- contienen los valores de las puntas mensuales correspondientes a la toma 3 de la zona (si no la hubiere se encontrarían ceros).
- 51° a 62° Registros:
- contienen los valores de las puntas mensuales correspondientes a la toma 4 de la zona (si no la hubiere se encontrarían ceros).
- 63° a 74° Registro:
- contienen los valores de las puntas mensuales correspondientes a la toma 5 de la zona (si no la hubiere se encontrarían ceros).
- 75° al 74+(Nx12)° Registros:
- contienen los valores de los déficits mensuales registrados a lo largo de la simulación.
- 75+(Nx12)° al 86+(Nx12)° Registro:
- contienen los valores de los déficits medios mensuales registrados en el horizonte de simulación.
- 87+(Nx12) al 98+(Nx12), del 99+(Nx12) al 110+(Nx12), del 111+(Nx12) al 122+(Nx12), del 123+(Nx12) al 134+(Nx12) y del 135+(Nx12) al 146+(Nx12) Registros
- contienen los suministros medios a través de las tomas 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente de la zona de demanda.
- 147+(Nx12)° al 158+(Nx12)° registros
- contienen los valores medios mensuales de los bombeos efectuados en la zona de la demanda.
- SUMINIST.PRN:** Contiene los resultados de suministro a aquellas **demandas de uso consuntivo** que se haya especificado para aparecer en este archivo. La estructura es la siguiente:
- 1° y 2° Registros:
- son similares a lo indicado en EMBALSE.PRN.
- 3° al 2+(Nx12)° Registros:

- contienen los valores de los suministros mensuales registrados a lo largo de la simulación.

CENTRALS.PRN: Contiene los resultados de aquellas **demandas de uso no consuntivo** que se haya especificado para aparecer en este archivo. La estructura es la siguiente:

1° y 2° Registros:

- son similares a lo indicado en EMBALSE.PRN.

3° Registro:

- contiene el valor del caudal máximo declarados en los datos.

4° al 15° Registros:

- contienen los valores de los caudales objetivo mensuales declarados en los datos.

16° al 15+(Nx12)° Registros:

- contienen los valores de caudales utilizados por las centrales durante el período de simulación.

16+(Nx12)° al 27+(Nx12)° Registros

- contienen los valores medios mensuales del caudal utilizado por la central. (12 valores)

CENTPROD.PRN: Contiene los **resultados de producción hidroeléctrica de las demandas de uso no consuntivo** que se hayan seleccionado para aparecer en este archivo. La estructura es similar a EMBFILT.PRN.

RECARTF.PRN: Contiene los resultados correspondientes a aquellas **recargas artificiales** que se haya pedido figuren en este archivo. La estructura es la siguiente:

1° y 2° Registro:

- son similares a lo indicado en EMBALSE.PRN.

3° Registro:

- corresponde a las capacidades máximas de recarga declaradas en los datos.

4° al 3+(Nx12)° Registros:

- contienen los valores de recarga efectuados mensualmente durante la simulación.

4+(Nx12)° al 15+(Nx12)° Registros:

- contienen los valores medios mensuales de recarga.

BOMBAD.PRN: Similar a RECARTF.PRN, pero donde dice recargas artificiales léase **bombes adicionales** y donde dice recarga léase bombeo.

PCACU.PRN: Contiene los valores de los resultados (**parámetros de control**) que son obtenidos en los acuíferos para los cuales se haya solicitado estos datos, la estructura es la siguiente:

1° y 2° Registro:

- son similares a lo indicado en EMBALSES.PRN.

3° Registro:

- contiene los nombres de los parámetros de control de la columna correspondiente.

4° al 3+(Nx12)° Registros:

- contienen los valores mensuales de los parámetros de control registrados a lo largo de la simulación.

4+(Nx12) al 15+(Nx12) Registros:

- contienen los valores medios mensuales de los parámetros de control.

RNBOMBAC.PRN: Contiene los valores de las **recargas netas y bombes de acuíferos** que se haya solicitado. La estructura es la siguiente:

1° Registro(1 dato)

- número de años de simulación, "título del problema". Los registros que siguen contienen cada uno tantos datos como bombes primero y recarga después, son especificados en salida de gráficos.

2° Registro(máximo 300 datos)

- encabezamiento de columnas. Contiene los nombres de los acuíferos que le corresponden a los bombes de la columna respectiva. Después contiene los nombres de los acuíferos que le corresponde a la recarga de la columna respectiva.

3° Registro:

- contiene los términos "Bombeo y/o Recarga" dependiendo del tipo de resultado que se trate.

4° al 3+(Nx12) Registros:

- contienen los valores de toda la simulación.

4+(Nx12) al 15+(Nx12) Registros:

- contienen los valores medios mensuales.

ALARMAS.PRN: Contiene los valores de los **volúmenes de embalse y coeficientes de restricción obtenidos para todos los indicadores de alarma**, en el orden en que se han definido en el archivo de datos. La estructura es la siguiente:

1° y 2° Registros:

- son similares a lo indicado en EMBALSES.PRN.

3° al 2+(Nx12)° Registros:

- contienen parejas de valores de volumen - coeficiente de restricción para todos los indicadores.

3+(Nx12)° al 14+(Nx12)° Registros

- contienen los valores medios de volúmenes y coeficientes de restricción por parejas.

TABLA.TXT: Contiene **todos los resultados de la simulación** en formato de tabla para que pueda ser cargado con facilidad en hojas de cálculo.

Su contenido es el siguiente:

Cada fila incluye todos los resultados de la simulación para un mes con el siguiente orden:

- los datos 2° y 3° son el año y mes de la simulación.

A partir del 4° dato vienen los resultados de la simulación ordenados según se lista a continuación. Además, se escribe un archivo "TABLA.DIR" con los nombres de los datos que aparecen aquí en el mismo orden, donde cada fila contiene el tipo de elemento, el nombre del elemento y el tipo de dato, para cada serie de datos contenida en esta tabla.

(datos de aportaciones)

- aportaciones intermedias

(datos de embalses)

- aportaciones intermedias definidas en embalses
- entradas a embalses de la modelación
- volumen final de embalses
- cota final de embalses

- sueltas de embalses
- vertidos de embalses
- evaporación de embalses
- filtración de embalses

(datos de conducciones)

- caudal en tramos de río tipo 1
- caudal en final de tramos de río tipo 2
- filtraciones en tramos de río tipo 2
- caudal en final de tramos de río tipo 3
- filtraciones o ganancias en tramos de río tipo 3
- caudal en tramos de río tipo 4
- caudal máximo en tramos de río tipo 4
- caudal en tramos de río tipo 5

(datos de demandas)

- valores de demanda consuntiva
- suministro superficial a demandas consuntivas
- suministro subterráneo a demandas consuntivas
- déficit de suministro a demandas consuntivas
- suministro a demandas consuntivas por tomas (ordenados según demandas y por cada demanda el número de tomas de esa demanda).

(datos de retornos)

- flujo en elementos de retorno

(datos de centrales hidroeléctricas)

- caudal objetivo en centrales
- caudal turbinado en centrales
- altura de turbinado en centrales
- producción hidroeléctrica en centrales

(datos de bombeos adicionales)

- caudal bombeado

(datos de recargas artificiales)

- caudal recargado

(datos de acuíferos)

- recarga neta en acuíferos
- bombeo total en acuíferos
- parámetros de control en acuíferos (ordenados según acuíferos)

(datos de reglas de operación)

- volúmenes de referencia en elementos de alarma restricción
- valores de restricción en elementos de alarma restricción

El orden de los elementos de cada tipo es igual al leído por el programa en el archivo de datos físicos, que coincide con el orden de la numeración de usuario en AQUATOOLDMA.

Además, la columna correspondiente al primer dato de cada conjunto de valores viene indicada en el archivo de resultados para gráficos en formato xml que se describe en el apartado siguiente (para examinarlo es conveniente renombrarlo con la extensión “.xml” y abrirlo con el explorador de internet) dentro del conjunto de <NOMBRES> y situado antes de cada conjunto de nombres bajo la etiqueta <ICol1Tabla>.

8.3. Archivo de resultados etiquetados para gráficos.

Se ha diseñado una estructura de datos etiquetada según el estilo XML. Para que pueda ser leído mediante librerías diseñadas al efecto y también para que pueda ser utilizado por cualquier programa que utilice los resultados de SIMGES como entrada para sus cálculos. Este archivo también es utilizado por el programa de gráficos (GRAFDMA) utilizado en el interface gráfico AQUATOOLDMA. Este archivo tiene el nombre por defecto "salanupp.tmp".

Etiquetas de datos.

Se agruparán los datos por etiquetas de apertura y cierre como se indica en XML, pero sin llegar al detalle de aquel, y haciendo que las etiquetas ocupen solas una línea para ser fácilmente leídas e interpretadas desde programas de lectura secuencial como Fortran (a las etiquetas de la tabla añada los símbolos '<' y '>' a principio y final respectivamente).

Etiquetas	Descripción	1	2	3
MODELO	"SIMGES", "SIMRISK", "OPTIGES" según el programa que los genera	x	x	x
DATGEN	número de elementos de cada tipo (en general un dato por etiqueta, salvo elementos derivados como tomas que tienen los números de tomas de cada demanda ordenados)	x	x	x
TITRE	Título 1 del esquema	x	x	x
TITULO	Título 2 del esquema	x	x	x
NANY	Número de años de la simulación	x	x	x
NANI	año inicial de la simulación	x	x	x
MSINI1	Mes inicial de la simulación (1:enero)			x
NSERI	Número de series que se simulan			x
NMSCAM	Numero total de meses que se simula			x
NNOD	nudos	x	x	x
NEMB	embalses	x	x	x
NTR1	tramos río tipo 1	x	x	x
NTR2	tramos río tipo 2	x		x
NTR3	tramos río tipo 3	x		x
NTR4	tramos río tipo 4	x		x
NTR5	tramos río tipo 5	x		x
NAPINT	aportaciones intermedias	x	x	x
NDC	demandas consuntivas	x	x	x
NUMTO	número de tomas de cada demanda ordenadas	x		x
NDN	demandas no consuntivas	x		x
NRAR	recargas artificiales	x		x
NACU	acuíferos	x		x
NPCS	números de parámetros de control en cada acuífero	x		x
NAES	número de acciones elementales en cada acuífero	x		x
NBAD	bombeos adicionales	x		x
NRET	retornos	x	x	x
NISOP	grupos isoprioritarios	x		x

Etiquetas		Descripción	1	2	3
NINRE		indicadores de restricción	x		x
NOMBRES	IColITabla	Etiquetas de nombre de todos los elementos. Formato: (i3,1x,a30) Indica la posición del primer dato de cada tipo de elemento en el archivo de salida de resultados en forma de tabla única. Va situado al nivel de los nombres justo antes de cada etiqueta de nombres.	x		x
NOMDC		Nombre de la demanda de uso consuntivo I	x	x	x
NOMTC		Nombre de la toma J de la demanda consuntiva I	x		x
NOMAPI		Nombre de la aportación intermedia I	x	x	x
NOMEMB		Nombre del embalse I	x	x	x
NOMTR1		Nombre del tramo de río tipo 1 I	x	x	x
NOMTR2		Nombre del tramo de río tipo 2 I	x		x
NOMTR3		Nombre del tramo de río tipo 3 I	x		x
NOMTR4		Nombre del tramo de río tipo 4 I	x		x
NOMTR5		Nombre del tramo de río tipo 5 I	x		x
NOMRET		Nombre del retorno I	x	x	x
NOMDN		Nombre de la demanda no consuntiva I	x		x
NOMBAD		Nombre del bombeo adicional I	x		x
NOMRAR		Nombre de la recarga artificial I	x		x
NOMACU		Nombre del acuífero I	x		x
NOMAE		Nombre de la acción elemental K del acuífero I	x		x
NOMPC		Nombre del parámetro de control J del acuífero I	x		x
NOMINR		Nombre del indicador de alarma I	x		x
RED		Definición del grafo de la simulación	x	x	x
TR1	rio 1	Tantas líneas como número de elementos a que hace referencia. Para elementos dependientes (o sea tomas: TDC) las líneas se ordenan según el orden de demandas. En cada línea 3 datos correspondientes a un elemento:	x	x	x
TR2	rio 2		x	x	x
TR3	rio 3	1° número de arco	x	x	x
TR4	rio 4	2° número de elemento origen	x	x	x
TR5	rio 5	3° número de elemento destino	x	x	x
APINT	aportac.	Para los elementos que no tiene nudo origen o nudo destino el valor de este es -1	x	x	x
TDC	tomas	La numeración de elementos es la propia del tipo de elemento a que corresponde, que se sabe por el tipo de arco.	x		x
DNC	centrales		x		x
RAR	recargas		x		x
RET	retornos				
BAD	bombeos		x		x
EMB		Tantos datos como embalses. Cada dato es el número del nudo a que se asigna el embalse. Los datos se ordenan según la numeración de embalses.	x	x	x
IANY		Numero del año a que corresponden los datos. Se repite para cada año de la simulación.	x	x	x
DEMANDAS			x		x
SSUPC		suministro superficial a las demandas	x		x
DEFC		Déficit de suministro a la demanda	x		x
SSUBC		suministro subterráneo a las demandas.	x		x
TOMAS			x		x
	SSUPTC	suministro superficial por tomas ordenado según la numeración de las demandas..	x		x
APINT		Aportaciones intermedias	x	x	x

Etiquetas	Descripción	1	2	3
EMBALSES		X		X
APEMB	aportaciones intermedias a embalses	X		X
ENTEB	entradas por tramos de ría a embalses	X		X
VFIN	volumen final	X	X	X
CFIN	cota a final de mes	X		X
SUELTE	sueeltas	X		X
VERTE	vertidos	X		X
EVAPE	evaporación	X	X	X
FILTE	filtración	X		X
QT1	caudal río tipo 1	X	X	X
RIOT2		X		X
QT2	caudal río tipo 2	X		X
PERTR2	filtración	X		X
RIOT3		X		X
QT3	caudal río tipo 3	X		X
RT3	conexión acuífero	X		X
RIOT4		X		X
QXT4	caudal máximo	X		X
QT4	caudal río tipo 4	X		X
QT5	caudal río tipo 5	X		X
RETOR	retorno superficial	X	X	X
CENTRALES		X		X
QOBN	caudal objetivo	X		X
QTUR	caudal turbinado	X		X
HTUR	altura	X		X
PROD	producción	X		X
BOMBAD	bombeo adicional	X		X
QREC	recarga artificial	X		X
ACUIFEROS		X		X
RECNET	recarga neta de acuífero	X		X
BACU	bombeo total de acuíferos	X		X
PARAMCONT		X		X
PCONT	parámetros de control	X		X
ALARMREST		X		X
VEBIR	volumen en indicadores de alarma	X		X
CRIR	coeficiente de restricción aplicado	X		X
RESUMEN		X		X
GARANTIAS		X		X
DEMANDA	Incluye número de la demanda y contiene los siguientes cálculos de garantía. (Se repite para cada demanda consuntiva).	X		X
XFALL	Número de fallos	X		X
GAR	Garantía mensual.	X		X
GARV	Garantía volumétrica.	X		X
XDFMX	Máximo déficit en un mes	X		X
XDFMX2	Máximo déficit en dos meses	X		X
XFALPH	Número de fallos según criterio Planes Hidrológicos	X		X
GARPH	Garantía según Planes Hidrológicos.	X		X

Etiquetas	Descripción	1	2	3
XFAV1	Fallo máximo en un año. En % sobre demanda anual.	x		x
XFAV2	Fallo máximo en dos años. En % sobre demanda anual.	x		x
XFAV10	Fallo máximo en diez años. En % sobre demanda anual.	x		x

(1) simges (2) optiges (3) simrisk

Ejemplo.

La siguiente tabla muestra el archivo de resultados para un esquema con un embalse, una demanda, una conducción de tipo 1 y un año simulado.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
<SIMGES>
<DATGEN>
<TITRE>
" ejemplo"
</TITRE>
<TITULO>
" demo"
</TITULO>
<NANY>
1
</NANY>
<NANI>
1980
</NANI>
<NNOD>
1
</NNOD>
<NEMB>
1
</NEMB>
<NTR1>
1
</NTR1>
<NAPINT>
1
</NAPINT>
<NDC>
1
</NDC>
<NUMTO>
1
</NUMTO>
<NISOP>
1
</NISOP>
</DATGEN>
<NOMBRES>
<ICollTabla> 4</ICollTabla>
<NOMAPI>
1 " Aportación nº 1"
</NOMAPI>
<ICollTabla> 5</ICollTabla>
<NOMEMB>
1 " Embalse 1"
</NOMEMB>
<ICollTabla> 13</ICollTabla>
<NOMTR1>
1 " Conducción 1"
</NOMTR1>
<ICollTabla> 14</ICollTabla>
<NOMDC>
1 " Demanda nº 1"
</NOMDC>
<NOMTC>
1 " Toma nº 1"
</NOMTC>
</NOMBRES>
<RED>
<APINT>
1 -1 2
</APINT>
<TR1>
1 2 0
</TR1>
<TDC>
```



```

1 2 1
</TDC>
</RED>
<IANY>
1980-1981
<APINT>
1 1.1500 1.3800 6.5500 2.2100 9.0300 13.4300 24.7200 18.4400 3.8100 1.1200 0.4400 0.4400
</APINT>
<EMBALSES>
<APEMB>
1 1.1500 1.3800 6.5500 2.2100 9.0300 13.4300 24.7200 18.4400 3.8100 1.1200 0.4400 0.4400
</APEMB>
<ENTEB>
1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
</ENTEB>
<VFIN>
1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
</VFIN>
<CFIN>
1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
</CFIN>
<SUELTE>
1 1.1500 1.3800 6.5500 2.2100 9.0300 13.4300 24.7200 18.4400 3.8100 1.1200 0.4400 0.4400
</SUELTE>
<VERTE>
1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
</VERTE>
<EVAPE>
1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
</EVAPE>
<FILTE>
1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
</FILTE>
</EMBALSES>
<QT1>
1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
</QT1>
<DEMANDAS>
<DEMC>
1 30.0000 30.0000 30.0000 30.0000 30.0000 30.0000 30.0000 30.0000 30.0000 30.0000 30.0000 30.0000
</DEMC>
<SSUPC>
1 1.1500 1.3800 6.5500 2.2100 9.0300 13.4300 24.7200 18.4400 3.8100 1.1200 0.4400 0.4400
</SSUPC>
<SSUBC>
1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
</SSUBC>
<DEFCC>
1 28.8500 28.6200 23.4500 27.7900 20.9700 16.5700 5.2800 11.5600 26.1900 28.8800 29.5600 29.5600
</DEFCC>
<TOMAS>
<SSUPTC>
1 1.1500 1.3800 6.5500 2.2100 9.0300 13.4300 24.7200 18.4400 3.8100 1.1200 0.4400 0.4400
</SSUPTC>
</TOMAS>
</DEMANDAS>
</IANY>
<RESUMEN>
<GARANTIAS>
<DEMANDA> 1
<XFALL> 12.000 </XFALL>
<GAR> 0.000 </GAR>
<GARV> 22.978 </GARV>
<XDFMX> 29.560 </XDFMX>
<XDFMX2> 59.120</XDFMX2>
<XFALPH> 1.000</XFALPH>
<GARPH> 0.000 </GARPH>
<XFAV1> 77.022 </XFAV1>
<XFAV2> 0.000 </XFAV2>
<XFAV10> 77.022</XFAV10>
</DEMANDA>
</GARANTIAS>
</RESUMEN>
</SIMGES>

```

8.4. Archivo para cálculos posteriores de balances.

Para poder efectuar balances por zonas de la cuenca el modelo produce opcionalmente un archivo en que se almacena toda la información que se tenía en el archivo resumen final, pero sin textos ni rótulos, de forma que constituye un archivo de datos que puede ser utilizado por

un programa que, leyendo también el contenido del archivo de datos físicos y gestión (p.e. "DATFIS.DAT") sea capaz de obtener los balances zonales. Dicho archivo se escribe en formato ASCII. Todos los resultados escritos son números en coma flotante de 4 bytes y separados por "punto y coma" (para que pueda abrirse con los valores separados en celdas desde una hoja de cálculo). La estructura del archivo, cuyo nombre se indica en el archivo de datos para lectura y escritura ('DATOS.DAT') es la siguiente:

Antes de cada tipo de resultado se escribe una etiqueta identificativa.

Antes de los resultados de cada elemento se escribe el número de orden y el nombre del elemento.

Además de lo anterior, se escribe los siguientes valores por cada elemento:

- Tantos **registros** (líneas) como **aportaciones intermedias** conteniendo cada una doce valores medios mensuales y el valor medio anual.
- Siete **registros** por cada **embalse**, conteniendo:
 - 1° Registro: 12 valores de aportaciones intermedias medias mensuales y el valor medio anual.
 - 2° Registro: 12 valores de aportación media mensual de la parte del sistema aguas arriba y el valor medio anual.
 - 3° Registro: 12 valores de volumen final medio mensual.
 - 4° Registro: 12 valores de desembalse controlado (suelta) medio mensual y el valor medio anual.
 - 5° Registro: 12 valores de vertidos medios mensuales y el valor medio anual.
 - 6° Registro: 12 valores de evaporación media mensual y el valor medio anual.
 - 7° Registro: 12 valores de filtraciones medias mensuales y el valor medio anual.
 - 8° Registro: Número de meses en que el volumen final es nulo y número en que alcanza el valor máximo.
- Tantos **registros** como **tramos de río tipo 1**, conteniendo cada uno doce valores de caudal medio mensual circulado, el valor medio anual de este y el número de meses en que se ha violado el caudal mínimo.
- Dos **registros** por cada **tramo de río tipo 2**, conteniendo:

-
- 1° Registro: 12 valores de caudal saliente medio mensual, su valor medio anual y el número de meses en que no se ha cumplido el caudal mínimo.
 - 2° Registro: 12 valores de infiltración media mensuales y el valor medio anual.
- Dos **registros** por cada **tramo de río tipo 3**, conteniendo:
- 1° Registro: 12 valores de caudal saliente medio mensual, su valor medio anual y el número de meses en que no se ha cumplido el caudal mínimo.
 - 2° Registro: 12 valores de la relación río-acuífero media mensual y el valor medio anual.
- Dos **registros** para **conducción de tipo 4**, conteniendo:
- 1° Registro: 12 valores de caudal saliente medio mensual, su valor medio anual y el número de meses en que no se ha cumplido el caudal mínimo.
 - 2° Registro: 12 valores de medios de los máximos que podrían haber circulado en cada mes y el medio del total anual.
- Un **registro** para cada conducción **de tipo 5**, conteniendo: 12 valores de caudal saliente medio mensual y su valor medio anual.
- Por cada **demanda consuntiva** hay cuatro registros iniciales más un registro por toma. Los cuatro registros iniciales contienen:
- 1° Registro: 12 valores de demanda mensual y el valor total anual.
(+13 datos si se define regla de ahorro en la demanda): valores dados para la demanda de base (sin aplicar la regla de operación).
 - 2° Registro: 12 valores de suministro superficial medio mensual y el valor medio anual.
 - 3° Registro: 12 valores de suministro subterráneo medio mensual y el valor medio anual.
 - 4° Registro: 12 valores de déficit medio mensual y el valor medio anual.
(+13 datos si se define regla de ahorro en la demanda): los mismos resultados calculados para la demanda de base (sin aplicar la regla de operación).

- 5° a 9° registros: A continuación cinco registros para **tomas**, cada uno de los cuales contiene los 12 valores medios mensuales del suministro que proporciona cada toma y el valor medio anual. Si hay menos de 5 tomas se completa con líneas con valores 0.
- 10° registro: (3 datos) Número de meses en que no se ha cubierto la demanda (número de fallos), máximo déficit en un mes y máximo déficit en dos meses consecutivos en Hm^3 .
(+3 datos si se define regla de ahorro en la demanda): los mismos resultados calculados para la demanda de base (sin la regla de operación).
- 11° registro: (1 dato) Número de fallos según el criterio tipo "Planes Hidrológicos".
(+1 dato si se define regla de ahorro en la demanda): el mismo resultado calculado para la demanda de base (sin la regla de operación)
- 12° registro: (6 datos) Valor 0 o 1 según cumpla o no cumpla el criterio Utha. Máximo déficit en % calculado a 1 año, a 2 años y a 10 años. Y número de fallos según el criterio de garantía definido en la IPH,2009 para demandas urbanas: n° fallos según criterio mensual y n° fallos según criterio de 10 años.
(+6 datos si se define regla de ahorro en la demanda): los mismos resultados calculados para la demanda de base (sin la regla de operación)
- Un **registro** por cada **elemento de retorno** conteniendo doce valores medios mensuales del retorno y el valor medio anual.
 - Tres **registros** por cada **demanda no consuntiva** conteniendo:
 - 1° Registro: 12 valores de caudal objetivo mensual y el valor total anual.
 - 2° Registro: 12 valores de caudal turbinado medio mensual y el valor medio anual.
 - 3° Registro: 12 valores medios de producción de energía mensual y el valor medio anual.
 - Un **registro** por cada **bombeo adicional**, conteniendo 12 valores medios mensuales del bombeo y el valor medio anual.
 - Un **registro** por cada **recarga artificial** conteniendo 12 valores medios mensuales y el valor medio anual.

-
- Por cada **acuífero** hay dos registros iniciales más un registro por cada parámetro del control. Los dos registros iniciales contienen:
 - 1° Registro: 12 valores medios de recarga neta al acuífero mensual y el valor medio anual.
 - 2° Registro: 12 valores medios de bombeo total de acuífero mensual y el valor medio anual.
 - 3° a 12 Registros: Diez registros correspondientes a cada **parámetro de control** contiene 12 valores medios mensuales del parámetro de control y el valor medio anual. Si el modelo tiene menos parámetros se completa con registros 0.

 - Dos registros por cada **indicador de alarma**, conteniendo:
 - 1° Registro: 12 valores medios de los volúmenes embalsados medios.
 - 2° Registro: 12 valores medios de los coeficientes de restricción.

9. MENSAJES DE ERROR

La ejecución del modelo puede verse interrumpida debido a determinados errores detectados por el programa. El modelo presenta un mensaje en pantalla 'TERMINACIÓN EN ERROR' y escribe el error dado en el archivo 'SIMGES.ERR' directorio de trabajo. A continuación se listan los mensajes de error que pueden causar la detención del programa.

- **RED NO CONEXA, N° DE ERRORES n.**
Es un error debido a una concepción errónea del esquema de usuario. El número n puede dar una idea del número de errores en éste. Será necesario revisar el haber cumplido los requisitos para la definición del esquema del usuario. En especial hay que buscar errores en la definición de nudos iniciales y finales de conducciones. Los nudos iniciales habrán de llevar delante algún elemento (otra conducción, una aportación,...). Los nudos finales habrán de llevar detrás algún elemento o bien ser el nudo final del sistema (999).
- **DIMENSIONES INSUFICIENTES EN RED INTERNA.**
En principio no es posible que se de este error si se han cumplido todas las restricciones incluidas en este manual. Si se produce hay que comprobar que se cumplen las restricciones dadas en 7.2.
- **PROBLEMAS CON LIMITES INFERIORES Y SUPERIORES EN GRAFO**
En este caso no hay solución factible al resolver la optimización mensual debido a un error en los límites superior e inferior en la red interna.
El modelo lista el año, mes e iteración en que ocurre el error.
Generalmente es debido a una definición incorrecta de caudales máximos y mínimos en conducciones o a un zonado incorrecto en algún embalse.
- **SE SUPERA EL MÁXIMO DE ELEMENTOS ADMISIBLE**
Si se produce hay que comprobar que se cumplen las restricciones dadas en el apartado 7.2.
- **ERROR: SE SUPERA MAX. DE [tipo de elemento]**
El modelo ha detectado que para el tipo de elemento dado se han declarado mas de los contemplados en los límites máximos dados en el apartado 7.2.
- **ERROR DE LECTURA EN ARCHIVO DE DATOS FÍSICOS: LÍNEA ???**
Se detiene la ejecución del programa al leer el archivo de datos físicos y de gestión indicándose en que número de línea se ha producido el error de lectura.
Es debido a un archivo incorrecto ya sea por omisión de datos, tipos de datos incorrectos, haber alcanzado el final de archivo, etc.
Su solución es revisar este archivo siguiendo las indicaciones dadas en este manual (apartado 7.2) empezando por las líneas próximas a la dada por el modelo.

-
- **ERROR: RETORNO ??1 DE DEMANDA ??2 INCORRECTO**
El modelo ha detectado un número de retorno incoherente. Puede ser un número negativo o superior al número de retornos declarados.
 - **ERROR DE LECTURA EN ARCHIVO DE ACUÍFERO NO. ??**
Al leer los datos del acuífero dado, se ha producido un error. Debe comprobarse la existencia y ubicación del archivo. Si son correctos, el contenido.
 - **SE SUPERA DIMENSIÓN GRÁFICOS**
Es un error debido a datos incorrectos en el archivo de especificaciones para gráficos. Se debe a intentar escribir información para gráficos superando el máximo admisible (las restricciones se recogen en el apartado 7.3).
 - **CABECERA DE ARCHIVO DE APORTACIONES INCORRECTA**
Al intentar leerse el archivo de aportaciones se ha detectado que su estructura no es correcta.
 - **CABECERA DE ARCHIVO DE EVAPORACIONES INCORRECTA**
Al intentar leerse el archivo de aportaciones se ha detectado que su estructura no es correcta.
 - **ERROR LECTURA APORTACIONES EN LÍNEA ???**
Se ha producido un error de lectura al llegar a la línea dada. Debe revisarse el archivo.
 - **ERROR LECTURA SERIE EVAPORACIONES EN LÍNEA ???**
Se ha producido un error de lectura al llegar a la línea dada. Debe revisarse el archivo.
 - **ERROR: FIN DE ARCHIVO DE APORTACIONES**
Se ha alcanzado el fin de archivo antes de lo esperado. La razón puede estar en el propio archivo o en el año inicial y número de años dados en el archivo de datos físicos.
 - **ERROR: FIN DE ARCHIVO DE SERIES EVAPORACIONES**
Se ha alcanzado el fin de archivo antes de lo esperado. La razón puede estar en el propio archivo o en el año inicial y número de años dados en el archivo de datos físicos.
 - **ERROR APORTACIONES: NO. COLUMNAS ??? SUPERA MÁXIMO \$\$\$**
El número de columnas del archivo de aportaciones supera el máximo admitido por el modelo.
 - **ERROR EVAPORACIONES: NO. COLUMNAS ??? SUPERA MÁXIMO \$\$\$**
El número de columnas del archivo de evaporaciones supera el máximo admitido por el modelo.

-
- **ERROR DE LECTURA EN ARCHIVO DE COSTES FICTICIOS')**
Se ha producido un error de lectura en el archivo de costes ficticios. Debe repasarse el archivo.

 - **NO SOLUCIÓN FACTIBLE EN GRAFO**
En este caso no hay solución factible al resolver la optimización mensual. Probablemente la causa sea una concepción deficiente del esquema del usuario, por ejemplo límites superiores de conducciones que no permiten desaguar aguas de avenidas.
A continuación el modelo lista el año, mes e iteración en que ocurre el error.

 - **ERROR AL ESCRIBIR EN ARCHIVO ECO O SALIDA RESULTADOS, COMPRUÉBESE QUE NO ESTÁ ABIERTO POR OTRA APLICACIÓN**
El problema es debido a que cuando se lanza el modelo, se escribe en el archivo de eco de datos, pero éste está abierto por otra aplicación o bien por la interface. También se puede producir este error si alguno de estos archivos está bloqueado por la propiedad de "solo lectura", como ocurre cuando se copia directamente desde un CD.

 - **Otros errores**
También se puede detener la ejecución del programa y aparecer en pantalla algún mensaje de error debido a causas tales como:
 - . overflows
 - . error en apertura de archivos
 - . error en lectura de archivos
 - . falta de espacio para escritura de resultados
 - . memoria insuficiente para ejecución del programa
- En general serán debidos a una insuficiente configuración del "hardware" empleado o a una deficiente construcción de los archivos de datos.
El usuario ha de comprobar estas posibilidades y si pudieran ser descartadas debería ponerse en contacto con los autores del programa.

10. INSTALACIÓN DEL MODELO

El programa se ha de ejecutar bajo el sistema operativo Microsoft Windows 98, NT o 2000. (También se puede obtener compilados para su ejecución bajo MSDOS o UNIX).

Los requisitos de disco duro para su instalación son de 30 Mb. Una simulación puede producir archivos de gran tamaño en el disco duro (más de 100 Mb), por lo que en caso de tener este espacio limitado se deberá cuidar especialmente las opciones de salidas de resultados.

Para instalar el programa basta copiarlo en el directorio del disco duro elegido. Su ejecución se lleva a cabo como la de cualquier otro programa en entorno Windows.

11. REFERENCIAS.

Andreu, J.

"Modelos agregados y distribuidos. Modelos unicelulares. Modelos Glover-Jenkins", en "*Utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas*", ed. por M. Varela, S.G.O.-P., Madrid, 1983.

Andreu, J. y J. Marco

"El modelo USOCON de simulación de utilización conjunta de una cuenca". En "*Utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas*". Servicio Geológico de Obras Públicas y Universidad Politécnica de Valencia, Spain, 1983.

Andreu, J. y A. Sahuquillo

"Efficient Aquifer Simulation in Complex Systems", *Journal Water Plann. and Manag.* Vol. 113, No.1, 1987.

Estrada, F.

"Criterios e Indicadores para Evaluar el Funcionamiento de un Sistema de Recursos Hídricos", en *Curso sobre Modelos de Gestión de Sistemas de Recursos Hídricos*, CEDEX, Madrid, 1991.

Hisch, R.M., J.L. Cohon and C.S. Revelle

"Gains from joint operation of multiple reservoir systems", *Water Resources Bulletin*, Vol. 13, No.2, pp. 239-245, 1977.

IPH, 2008. BOE nº229 de 22 de septiembre de 2008.

"ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica."

Loucks, D.P. and O.T. Sigvaldason

"Multiple reservoir operation in North America", en *The Operation of Multiple Reservoir Systems*, Z.Kaazmarek and J.Kindler (eds)., International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1982.

Ramos, F., J. Ferrer y A. Sahuquillo

"Determinación de autovalores y autofunciones de acuíferos relacionados con ríos". V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid, Octubre 1983.

Sahuquillo, A.

"Obtención de funciones de influencia, sobre los caudales de un río, de los bombeos en un acuífero rectangular, homogéneo e isotrópico, conectado con él". IV Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Zaragoza, 1981.

Sahuquillo, A.

"Modelos no lineales. Modelos cuasi-agregados. Manantiales", en "*Utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas*", ed. por M. Varela, S.G.O.P., Madrid, 1983.

Andreu, J., Capilla, J., y Sanchís, E.

"AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management", en "Journal of Hidrology", 1996.

Capilla, J., y Andreu, J.

"AQUIVAL: A GUI for groundwater modelling incorporated into the simulation of complex water resources systems" en "6th International Conference on Hydraulic Engenering Software, Penang, Malaysia", de. Por W.R. Blain,