16. MODELO MATEMÁTICO

16.1. Preparación del Modelo

16.1.1. Elección de los Límites
16.1.2. Tipos de Límites(P-44)
16.1.2.1. Fronteras a Flujo Nulo
16.1.2.2. Fronteras a Potencial Impuesto
16.1.3. Elección de las Mallas(P-45)

16.2. Fase de Identificación

16.2.1. Período del Calaje del Modelo
16.2.2. Preparación de la Fase de Identificación
16.2.3. Resultados de la Fase de Identificación
16.2.4. Simulación del Período 28 de Septiembre-29 Octubre

16.3. Régimen Permanente

16.4. Fase de Previsión

16.4.1. Limitaciones Impuestas por los Caudales declarados
16.4.2. Método de Superposición de Efectos
16.4.3. Tiempo Necesario para Alcanzar el Régimen Permanente
16.4.4. Efecto final en Estiaje de un Aumento de las Explotaciones
16.4.5. Simulación de la Piezometría que se hubiese obtenido en Septiembre de 1971 de haberse aumentado las Extracciones
16.4.6. Simulación de los Efectos de una Variación de Alimentación
16.4.7. Fiabilidad de las Futuras Previsiones
16.4.8. Otras Posibilidades del Modelo

16.5. Conclusiones del Modelo

16.– MODELO MATEMATICO

16.1.– PREPARACION DEL MODELO

16.1.1.– ELECCION DE LOS LIMITES

Los límites del modelo han sido escogidos en función de dos criterios clásicos, necesarios para obtener una simulación satisfactoria.

a) Máxima identificación entre las fronteras simuladas y las fronteras hidrogeológicas reales existentes en el terreno.

b) Máximo alejamiento, compatible con los datos de partida entre la zona a estudiar y los límites elegidos.

En la primera fase del modelo, cuyo objeto era verificar la compatibilidad de la información obtenida en el estudio previo sobre el terreno y extender hasta los límites el conocimiento de los parámetros del acuífero, estos criterios han podido ser bien respetados.

Se verá más tarde la crítica de las fronteras del modelo que conviene hacer para la fase de previsión.

16.1.2.– TIPOS DE LIMITES (P–44)

Las fronteras elegidas han sido de dos tipos:

Fronteras a flujo nulo
Fronteras a potencial impuesto

Las fronteras a flujo nulo pueden dividirse a su vez en dos categorías:

Límites impermeables naturales
Líneas de corriente

16.1.2.1.– FRONTERAS A FLUJO NULO

a) límites impermeables naturales

Frontera FN1.– Contacto entre formaciones permeables: dolomías y formación Vicar, y formaciones impermeables: formación Sorbas y Paleozoico.

Frontera FN2.– Corresponde a:

1) Condiciones geológicas: contacto entre formaciones permeables y formación Sorbas impermeable,

2) Condiciones hidrogeológicas: Transmisividad prácticamente nula al oeste de la frontera. Este dato ha sido confirmado por la presencia de pozos en esta zona que no han podido suministrar caudal alguno.

Frontera FN3.– Contacto entre formación permeable y formaciones hipogénicas impermeables.

b) Líneas de corriente

Los datos suministrados para la construcción del modelo impedían poder extenderlo hasta unos límites que correspondiensen en su totalidad a fronteras naturales. Ha sido necesario, por lo tanto, completar los límites a flujo nulo, utilizando líneas ortogonales a las isopiezas, es decir, líneas de corriente, a través de las cuales no puede por definición transitar ningún flujo.

Conviene señalar que el imponer una línea de corriente como frontera a flujo nulo, puede ser poco realista cuando se simula un régimen transitorio. En efecto, si la forma de las isopiezas varía apreciablemente en el curso del tiempo, las líneas de corriente variarán también, y las fronteras impuestas no serán ya reflejo del fenómeno natural.

Sin embargo, la peculiar estructura del Campo de Níjar, permite depositar un alto grado de confianza en la elección de determinadas líneas de corriente como fronteras a flujo nulo.

Una línea de corriente adyacente a una barrera impermeable será siempre paralela a ésta.

Si existe una isopieza constante, las líneas de corriente que la crucen deberán ser perpendiculares a ella en todo instante.

Las líneas de corriente que en el Campo de Níjar sigan el contacto con las barreras impermeables naturales y lleguen al mar (isopieza **O** constante), estarán en gran parte determinadas por estas condiciones y no deberán variar de manera importante.

Como veremos seguidamente, otros factores apoyan para cada una de las fronteras a flujo nulo, correspondientes a líneas de corriente la conclusión de que no podrán variar apreciablemente en el curso del tiempo.

Por otra parte, durante el período elegido para la fase de identificación puede afirmarse con seguridad que estas fronteras no han sufrido modificación y son reflejo del fenómeno real.

Frontera **LC1**.— Línea de corriente desde la frontera FN3 hasta el límite de las salinas. Corresponde por otra parte a una línea divisoria de aguas coincidente con una barrera geológica semipermeable, como ha sido comprobado en un estudio de conductividades realizado por ENADIMSA desde el río Andarax hasta el Cabo de Gata.

Frontera **LC2**.— Línea de corriente desde la frontera FN2 hasta el mar. Ninguna consideración geológica permite afirmar actualmente que esta línea no será alterada por una modificación de las condiciones de explotación, especialmente en la zona correspondiente a la salida del Barranquete, pero su pequeña longitud relativamente al perímetro del modelo, y el hecho de que esté mantenida por la barrera impermeable y el mar, nos permite estimar poco importante el error cometido al mantener esta línea en la fase de previsión.

16.1.2.2.— FRONTERAS A POTENCIAL IMPUESTO

Durante el período correspondiente a la fase de identificación, ha sido posible determinar tres límites a potencial impuesto. Su validez en la fase de previsión será discutida para cada uno de ellos.

Frontera **PI1**.— Desde la frontera FN1 a la FN3.

Las medidas de nivel efectuadas en los pozos 94, 102, 95 y 98, hoja 1.046 en las épocas de Primavera, 11 de Julio, 16 al 26 de Agosto, 28 de Septiembre y 29 de Octubre de 1971, han sido las siguientes:

Pozo	94	102	95	98
Primavera	139	143	143	144
11 de Julio	—	143	—	144
16 al 26 de Agosto	—	143	—	—
28 de Septiembre	141	143	142	143
29 de Octubre	139,73	143,59	142	143

Estos pozos conservan sensiblemente los mismos niveles, con pequeñas fluctuaciones, durante el período estudiado.

Para la fase de identificación, del 11 de Julio al 28 de Septiembre, se ha supuesto con muy pequeño error, que la isopieza 143 se mantenía constante.

Para la fase de previsión no puede decirse en rigor que esta isopieza se mantendrá constante, cualesquiera que sean las modificaciones de la alimentación o de las extracciones.

Si se supone por ejemplo que un fuerte aumento de los caudales extraídos no modificará la isopieza 143, se hace en principio una hipótesis optimista, puesto que lógicamente, los niveles correspondientes a ella tendrán tendencia a bajar.

Sin embargo, las siguientes consideraciones atenúan en gran manera el optimismo de la hipótesis.

a) La Isopieza está muy alejada de las zonas de explotación actual.

b) Está asimismo muy alejada de las zonas de posible aumento de las explotaciones futuras.

c) Las simulaciones en ordenador previas a la fase de previsión, han puesto en evidencia, que el efecto de las posibles sobreexplotaciones sobre la zona correspondiente a la isopieza 143, es muy pequeña.

El mantener la isopieza 143 constante en la fase de previsión corresponde pues a

una hipótesis moderadamente optimista.

Frontera PI2.— Desde la frontera FN1 a la FN2.

Al observar los valores medidos en el pozo 10 de la hoja 1.045 en distintas épocas, se comprueba que el nivel de este pozo no varía apreciablemente, manteniéndose en la cota 316.

No existe otro punto fiable con la misma cota que permita determinar con exactitud la posición de la isopieza 316, pero si se observan los mapas piezométricos en distintas épocas en la región de Níjar, puede comprobarse que las isopiezas son sensiblemente paralelas entre sí, con un gradiente muy fuerte y regular.

Es lógico pensar que la isopieza 316 será paralela a las otras isopiezas adyacentes conocidas y que su posición puede determinarse por extrapolación con pequeño error.

El modelo matemático ha corroborado la exactitud de esta suposición. En efecto, un error de transcripción de un dato de nivel nos hizo adoptar en un principio una posición distinta para la isopieza 316, siguiendo la frontera PI2.

En la fase de identificación pudo comprobarse al cabo de 12 ensayos que era materialmente imposible reconstituir la piezometría correspondiente al 28 de Septiembre, de no afectar a la zona de Níjar unas transmisividades completamente desprovistas de sentido hidrogeológico. Revisados los datos y encontrado el error, se corrigió la posición de la isopieza, que fue supuesta paralela a las otras conocidas en la zona.

Se corrigieron los valores del potencial impuesto en las mallas correspondientes a la frontera PI2, en función de la nueva posición adoptada de la isopieza 316, resultando entonces relativamente sencillo el calaje y encontrándose valores de transmisividad en la zona en perfecta concordancia con los observados y con la estructura del terreno.

Si bien puede afirmarse con seguridad que durante el período correspondiente a la fase de identificación, la frontera PI2 no ha sufrido modificación alguna, resultaría en principio delicado el mantener la posición de la isopieza 316, en la fase de previsión, ya que si bien se encuentra alejada de la zona a estudiar, no puede pasarse por alto el hecho de que existen fuertes explotaciones contiguas a ella. La hipótesis de que la isopieza 316 no puede modificarse sería muy optimista.

La falta de sondeos o pozos más alejados de esta zona impide, por otra parte, elegir otra isopieza más idónea, pero como ocurre con la frontera PI1, otros factores atenúan el optimismo:

a) Los niveles medidos, posteriormente al período sobre el que se construyó el modelo matemático, han sido los siguientes:

Fecha Pozo	Noviembre 1971	Enero 1972	Febrero 1972	Marzo 1972	Abril 1972	Mayo 1972
10	316,59	—	—	317,06	317,98	317,15

Así pues pese al gran flujo que transita por esta zona y pese a los fuertes gradientes e importantes extracciones en las inmediaciones del pozo 10, su nivel no ha variado de manera importante, habiendo incluso subido ligeramente durante el período de recarga.

b) Según información recogida en el inventario, cuando se aforó el pozo en Agosto de 1968 su nivel era de 317,16 m. Este nivel no ha variado pues en 4 años, pese al continuo aumento de las explotaciones en este período.

c) Aunque no pueda afirmarse con seguridad por falta de datos relativos al aforo, el

pozo 10 parece estar situado en una zona en la que el manto de las dolomías se hace libre, y donde por lo tanto el coeficiente de almacenamiento tiene un valor muy superior al coeficiente de almacenamiento medio del acuífero contenido en la formación Vicar, que se encuentra cautivo casi en su totalidad. Las posibles sobreexplotaciones que sobre este manto se efectúen tendrán mucha menor repercusión en la zona de Níjar. (Por no estar previsto en el estudio nada podrá predecirse con seguridad respecto a las sobreexplotaciones posibles en las dolomías).

d) Una falla situada al Sur de Sierra Alhamilla, detectada por la geofísica y puesta también en evidencia por el modelo matemático en la fase de identificación, constituye una barrera semitransmisiva que se opone fuertemente a la influencia que las posibles sobreexplotaciones de Vicar puedan tener sobre la línea considerada como de potencial impuesto.

Por todos estos factores podemos decir que el considerar constante en el tiempo la isopieza 316 representa de nuevo una hipótesis moderadamente optimista.

Frontera PI3.— Está constituída en parte por la línea de costa hasta Cabo de Gata y en parte por el límite de las salinas al Este, desde la frontera LC1 a la LC2.

Se ha impuesto en ella el potencial **O** por razones obvias, tanto en la fase de identificación como en la de previsión.

16.1.3.— ELECCION DE LAS MALLAS (P—45)

La irregular distribución de la información y los fuertes contrastes de transmisividad y gradientes, aconsejaron el empleo del modelo MAYIR, para optimizar la simulación del comportamiento hidráulico del Campo de Níjar.

Una de las características principales de este modelo es la posibilidad de trabajar en mallas cuadradas de talla variable.

Esta talla se escoge para cada malla en función de la densidad de información que se posee de los contrastes de transmisividad, gradiente y almacenamiento, y de la precisión que se desea obtener en las distintas zonas.

Por otra parte el modelo está enteramente controlado por tarjetas de datos, siendo directamente aplicable a todo manto o sistema interconectado con cualquier distribución de características hidrogeológicas evitando así la tarea de programación y puesta a punto con la consiguiente economía de tiempo y costo.

Determinadas las fronteras del modelo se discretizó el dominio limitado por ellas en 643 mallas de las cuales 551 eran de trabajo, es decir mallas en las que se debía calcular el nivel piezométrico medio de cada una en distintas hipótesis de explotación, correspondiendo el resto a condiciones límites.

Es interesante señalar que de haberse procedido a una simulación en mallas regulares hubieran sido necesarias 1.227 mallas de trabajo para alcanzar la misma precisión y respetar los mismos contrastes.

Tanto la capacidad de memoria del ordenador necesario como el tiempo de cálculo de cada pasada se hubiesen visto considerablemente aumentados, lo cual hubiese incidido de nuevo desfavorablemente en el precio del modelo.

Por otra parte, en las zonas en las que la densidad de información no correspondiese a la densidad de resultados obtenidos, esta última hubiese sido ficticia, por lo que hubiera

sido necesario un trabajo de interpretación, tanto en la fase de calaje como en la de previsiones.

En el modelo del Campo de Níjar se eligieron mallas de tres tallas:

Mallas pequeñas de 375 m de lado
Mallas medianas de 750 m de lado
Mallas grandes de 1.500 m de lado

Las mallas pequeñas corresponden a zonas en las que la información es muy abundante o en las que el contraste de transmisividad y gradiente es muy acusado, (evitando el frecuente error de englobar en una misma malla zonas de características hidrogeológicas muy distintas, con lo que el método de discretización de ecuaciones diferenciales por diferencias finitas deja de ser aplicable).

Las grandes mallas fueron reservadas para zonas de información muy escasa o nula, con gradientes estimados regulares.

Las mallas medianas fueron situadas en zonas que presentaban unas circunstancias intermedias entre estos dos extremos.

En los límites de potencial impuesto se aumentó artificialmente y en la medida de lo posible el número de mallas por razones basadas en el análisis numérico, ya que de este modo se obtiene una matriz del sistema de mayor carácter diagonalmente dominante, con lo que se acelera la convergencia del método iterativo de resolución del sistema de ecuaciones diferenciales representativas.

Estas ecuaciones fueron discretizadas por el método de incrementos finitos, obteniendo un sistema de 551 ecuaciones e incógnitas, que es resuelto por el programa MAYIR, por el método de sobrerrelajación por puntos adaptados al caso de mallas variables.

La discretización del tiempo en la simulación del régimen transitorio fue efectuada en función del paso de tiempo crítico del sistema, calculado igualmente mediante el programa MAYIR, y que desgraciadamente era sólo de unos treinta segundos debido a la gran difusividad del acuífero. Este tiempo crítico, particularmente reducido, incidió desfavorablemente sobre el tiempo de ejecución de cada simulación en régimen transitorio, al imponer una discretización muy fina del tiempo en la fase explícita.

16.2.– FASE DE IDENTIFICACION

16.2.1.– PERIODO DE CALAJE DEL MODELO

El modelo del Campo de Níjar fue calado sobre la porción de historial conocido de niveles que presentaba mayores garantías de validez de los datos disponibles, es decir:

a) Niveles piezométricos medidos con precisión en un solo día y tras la máxima parada posible de la explotación en todo el Campo.

b) Buen conocimiento de los caudales de extracción.

c) Período seco durante el cual los caudales de infiltración, cuyo conocimiento es siempre particularmente difícil, tienen poca importancia.

Estas garantías concurrían en el período 11 de Julio – 28 de Septiembre 1971.

Con el fin de verificar el calaje realizado se simuló también el período 28 de Septiembre—29 de Octubre 1971, aunque, como se verá, este período presentaba menos garantía de fiabilidad respecto a las extracciones declaradas por los usuarios.

Comoquiera que para obtener unas medidas precisas y significativas de niveles se había procedido a una parada previa de las bombas en la casi totalidad del Campo de Níjar durante unas 16 horas, esta parada de bombeos fue también simulada con el fin de obtener la mayor concordancia posible entre el fenómeno simulado y el real.

La falta de conocimiento de un régimen permanente inicial del acuífero impedía poder hacer un calaje en régimen permanente o partiendo de él.

Esta restricción constituye una seria dificultad para el calaje del modelo, al encontrarse el acuífero, desde el instante inicial del período de calaje, en régimen transitorio, y no ser posible realizar la simulación a partir de un régimen estabilizado.

Debe ser subrayado que si ésto es un grave inconveniente en un modelo matemático, pues el calaje es mucho más difícil cuando no se parte de un régimen estabilizado y debe ser realizado con mucha minuciosidad y con un gasto de ordenador muy superior al normal, la dificultad se convierte en imposibilidad práctica en otros tipos de modelos.

16.2.2.– PREPARACION DE LA FASE DE IDENTIFICACION

La fase de identificación presentaba dos objetivos fundamentales:

a) Verificar la compatibilidad de los datos de terreno obtenidos.

b) Extender hasta los límites del modelo el conocimiento de las características hidrogeológicas del acuífero, ensayando distintas hipótesis estructurales e hidráulicas especialmente en las zonas donde la falta de puntos de medida hacía muy difícil a priori este conocimiento.

Antes de proceder a simulación alguna fue realizado un minucioso estudio de todos los puntos de agua contenidos en el dominio del modelo, con el fin de examinar la representavidad de los datos obtenidos.

Para ello se levantaron perfiles de todos los sondeos y pozos en los que se indicaron las características, estimadas o medidas, siguientes:

Cota en superficie
Nivel piezométrico de Septiembre
Profundidad de obra
Cota del techo de la formación Vicar
Cota del muro del mismo
Cota del techo de la formación Sorbas
Cota del muro del mismo

Todos estos datos fueron comparados para cada pozo y se compararon asimismo los pozos próximos entre sí.

Como resultado de este estudio fueron abandonados los puntos de agua sobre los que existían fundadas dudas respecto a la representatividad del acuífero estudiado, debidas a una o varias de las siguientes causas:

a) Incompatibilidad de datos
b) Fuertes anomalías locales respecto a los valores regionales

c) Posibilidad de que no alcanzasen la formación Vicar
d) Posibilidad de que captasen también la formación Sorbas
e) Posibilidad de colmatación

Era necesario por otra parte afectar un nivel piezométrico inicial correspondiente al 11 de Julio a cada una de las mallas del modelo.

Para ello se estableció un nuevo mapa piezométrico del 11 de Julio, basado solamente en los datos correspondientes a los puntos de agua no desechados. Este mapa presentaba unas isopiezas más regulares y continuas que el que había sido levantado a partir de todo el conjunto de puntos de agua.

Para completar los niveles sobre todas las mallas del modelo se procedió por interpolación a partir de los gradientes y niveles próximos a las mallas donde se carecía de datos.

En esta interpolación se tuvieron igualmente en cuenta, cuando se conocían, los valores de la transmisividad.

Esta operación hubo de ser reconstituída cuando se modificó la posición de la isopieza 316 (P. 46).

Las operaciones de interpolación y extrapolación, aunque totalmente clásicas y necesarias en hidrogeología, no están exentas de peligros cuando se intentan determinar valores puntuales. Sin embargo en un modelo matemático no se calculan éstos, sino valores medios para cada malla, por lo que el riesgo de error es mucho menor. Por otra parte el empleo de mallas variables donde la talla de la malla depende en gran manera de la densidad de información, disminuye todavía el error inherente a estas operaciones.

Establecido el mapa piezométrico de partida, la marcha a seguir era simular el régimen transitorio del 11 de Julio al 28 de Septiembre y la parada de bombeos de 16 horas que precedió a la toma de niveles. Los valores simulados de piezometría deberían ser comparados a los valores medidos el 28 de Septiembre, y de esta comparación podrían deducirse conclusiones respecto a la validez de las distintas hipótesis ensayadas.

La variación de niveles entre Julio y Septiembre de 1971 siendo muy poco importante para la mayoría de los puntos de agua y careciéndose de un historial piezométrico que hubiese puesto de manifiesto diferencias más acusadas, era necesario extremar al máximo las precauciones para no sacar conclusiones erróneas de estas comparaciones.

Por ello se procedió de nuevo a una selección de los niveles correspondientes al 28 de Septiembre, basada en el estudio de sondeos y pozos ya realizado y en la comparación de los datos entre sí para detectar posibles valores anómalos. Hecha esta selección se conservaron los valores de 57 puntos de agua que se consideraron más representativos de la piezometría del sistema el 28 de Septiembre (P. 47).

Contrariamente a lo que ocurría con la piezometría del 11 de Julio, fecha para la cual era imprescindible obtener un mapa piezométrico completo del sistema para iniciar la simulación, podíamos contentarnos con tener un número suficiente de niveles fiables del 28 de Septiembre, para basar sobre ellos la mayoría de las conclusiones respecto a las hipótesis ensayadas.

A partir de los valores proporcionados por la encuesta realizada se afectó a cada malla un valor del caudal de extracción. Fue levantado un mapa de los pozos correspondientes a cada malla (P. 48).

En las mallas que comprendían varios pozos fueron afectados los valores correspondientes al caudal global de extracción de todos ellos.

Siendo el único objeto del modelo el estudiar el comportamiento del acuífero contenido en la formación Vicar, fueron eliminados los caudales de extracción de los pozos que captaban solamente el Cuaternario.

Un cierto número de sondeos no solo captaba el acuífero Vicar, sino también el acuífero Sorbas. No conociéndose datos suficientes de éste, ni las características de las obras que se encontraban en esta circunstancia, se estimó de manera algo arbitraria, que el caudal correspondiente a Vicar era la mitad del caudal total extraído por cada una.

Los caudales correspondientes a los pozos situados en dolomías fueron conservados, por estar el acuífero de esta formación directamente conectado al contenido en Vicar.

De todos modos las modificaciones hechas fueron muy pequeñas respecto al caudal medio correspondiente al período 11 de Julio — 28 de Septiembre, y sólo deben considerarse como un pequeño ajuste para tomar una precaución suplementaria: Finalizada esta operación se levantó un mapa de caudales de extracción, y de alimentación directa sobre los afloramientos contenidos en el recinto del modelo, correspondientes al período considerado (P. 69). Se completaron los valores del coeficiente de almacenamiento que habían sido calculados sobre una parte del dominio del modelo, para lo cual se procedió por interpolación y extrapolación teniendo en cuenta el mapa de isopacas, los cortes estructurales, y el carácter más o menos pronunciadamente cautivo del manto (P.50). Este coeficiente de almacenamiento tiene muy poca importancia sobre el comportamiento actual del acuífero. Las variaciones de nivel piezométrico, a lo largo del año, son muy poco importantes respecto al elevado flujo que transita por el manto, y se puede decir, toda reflexión hecha, que estamos en presencia de un acuífero cautivo en su mayor parte y que el orden de magnitud del coeficiente de almacenamiento calculado está en perfecto acuerdo con el resultado de la simulación de Julio a Septiembre.

Un buen calaje del almacenamiento sólo hubiese sido posible disponiendo de un historial largo y preciso de niveles y caudales de extracción y alimentación, pero, como veremos, un conocimiento muy preciso de este parámetro no es absolutamente imprescindible para poder estudiar el sistema del Campo de Níjar.

Se debe indicar que incluso en buenas condiciones de ensayos de bombeo, y disponiendo de piezómetros, desgraciadamente inexistentes en la zona, el coeficiente de almacenamiento sólo se conoce muy aproximadamente, siendo aceptable el contentarse con un orden de magnitud.

16.2.3.– RESULTADOS DE LA FASE DE IDENTIFICACION

La fase de identificación, particularmente meticulosa, ha puesto de manifiesto los hechos siguientes:

a) El manto es muy sensible a las modificaciones de transmisividad.

b) Esta sensibilidad es particularmente acusada en la región dolomítica de Níjar, en la que se han encontrado importantes y rápidos contrastes, que harían aconsejable un estudio más detenido de esta zona.

c) El mapa de transmisividad hallado (P.51) ha confirmado zonalmente los valores calculados en el estudio de terreno.

d) Ha sido confirmada también la existencia de la falla situada al sur de la Sierra Alhamilla, y se ha puesto de manifiesto su papel de barrera semitransmisiva, con valores de transmisividad que aumentan progresivamente de Sur a Norte.

e) Al Sur del límite de la cuenca hidrográfica ha sido hallado un contraste de transmisividades a lo largo de una línea paralela al mar, que fue confirmado posteriormente en un estudio de conductividades (Estudio hidrogeológico realizado por ENADIMSA para el Ayuntamiento de Almería).

f) Fue confirmado también el papel de las distintas zonas de alimentación y evaluada ésta para el final del estiaje. El modelo permitió estimar la alimentación procedente de la frontera norte y completar así el balance.

Para el final del estiaje se obtuvieron los valores siguientes:

ENTRADAS

Alimentación por la frontera PI1 . . .	122 l/s
Alimentación por la frontera PI2 . . .	555 l/s
Alimentación por infiltración directa . .	17 l/s
Total	694 l/s

SALIDAS

Caudales de extracción	627 l/s
Salidas por la frontera PI3	148 l/s
Total	775 l/s

Estas magnitudes concuerdan bien con el balance hidrogeológico anterior a la construcción del modelo.

La reconstitución de la piezometría del 28 de Septiembre ha sido excelente (P.52), obteniéndose una perfecta concordancia entre los valores simulados y los reales en 54 de los 57 puntos elegidos para el calaje. Las mayores diferencias se sitúan en zonas exteriores al dominio previsto para el estudio, especialmente en la zona de Níjar, donde la talla de la malla no permite simular con detalle los fuertes gradientes existentes, aunque siendo éstos muy regulares, los valores medios calculados por el modelo siguen siendo representativos.

Una mayor precisión hubiera sido ficticia por carecerse del correspondiente detalle de datos.

16.2.4.– SIMULACION DEL PERIODO 28 DE SEPTIEMBRE – 29 DE OCTUBRE

Con el fin de realizar una nueva verificación de los parámetros obtenidos en la fase de identificación, se procedió a simular la evolución del manto en el período 28 de Septiembre – 29 de Octubre de 1.971, a partir del mapa piezométrico obtenido para esta fecha, los valores de transmisividad y almacenamiento hallados, y los datos de extracciones declaradas y alimentaciones calculadas correspondientes a este período. Se eligieron igualmente los puntos más representativos de la piezometría del 29 de Octubre.

Al realizar la simulación se observaron importantes variaciones, siendo los niveles hallados superiores en general a los niveles medidos sobre el terreno en esa fecha, especialmente en la parte superior del manto (P.53). Un detenido estudio del mapa obtenido permitió localizar las variaciones mas notables sobre una serie de mallas. Al revisar los datos correspondientes a ellas se observó que sistemáticamente los caudales correspon-

dientes al período Julio—Septiembre eran muy importantes, mientras que en el período Septiembre—Octubre los valores declarados para los mismos pozos eran muy pequeños o nulos.

Se pensó entonces que las disparidades constatadas podían provenir de una falta de veracidad respecto a los valores declarados, máxime si se tenía en cuenta que la pluviometría había sido nula durante el mes de Octubre y que el tipo de cultivos en el Campo de Níjar no parece implicar un cambio de explotaciones entre los meses de Septiembre y Octubre. Por otra parte en la relación de bombeos del 28 de Septiembre al 29 de Octubre que había sido facilitada para la construcción del modelo, no habían sido incluídos los valores que sólo habían podido obtenerse de manera muy vaga y confusa, por lo que habían sido considerados nulos en los datos de entrada de esta simulación.

Se procedió entonces a la experiencia siguiente:

Se afectó a los pozos que estaban en las circunstancias indicadas un caudal de extracción análogo al que había sido declarado para el mes de Septiembre, respetando los otros caudales declarados. Realizada la simulación se observó una buena concordancia entre los valores simulados y los medidos el 29 de Octubre (P.54), de lo que se dedujo que las anomalías observadas en la primera simulación eran solamente debidas a la falta de exactitud en los valores de los caudales en este período.

Como veremos después, la falta de veracidad fué acentuándose progresivamente en los meses siguientes, lo cual hizo imposible el considerar los valores de las extracciones posteriores al 29 de Octubre de 1971 como datos válidos para realizar una nueva verificación o afinar el calaje del modelo. Sólo ha podido ser calado éste sobre un período de dos meses y medio. Este período, particularmente breve, impone unas fuertes limitaciones al calaje que aconsejarían que se siguiese afinando el modelo a medida que se disponga de períodos más largos de observación y se puedan comparar las hipótesis admitidas con la evolución real del manto.

16.3.— REGIMEN PERMANENTE

Una vez considerado calado el modelo, lo primero que se pedía de él, era resolver si se había llegado a un régimen permanente en Septiembre de 1971, como se creía al hacer el balance global, o si por el contrario los niveles seguirían descendiendo al persistir las explotaciones del año 1971.

Así pues, se procedió a calcular el régimen permanente correspondiente a las extracciones e infiltraciones del período Julio—Septiembre, con las mismas potenciales impuestas y las transmisividades calculadas.

El mapa piezométrico obtenido presenta una gran semejanza con el mapa piezométrico correspondiente a Septiembre de 1971 (P.55).

Se calculó la relación entre: suma de los valores absolutos de los niveles piezométricos de cada malla en Septiembre 71 y la misma suma de los niveles piezométricos correspondientes al régimen permanente.

Esta relación fue de 94,21 por ciento.

Aunque este dato era suficientemente significativo, se pensó que para medir los niveles el 28 de Septiembre se había procedido a una parada general de las bombas durante unas 16 horas. Esta parada habría alejado los niveles de los niveles teóricos del

régimen permanente correspondiente.

Se simuló entonces una parada de bombeos de 16 horas a partir del permanente calculado, obteniéndose un mapa piezométrico de mucha mayor afinidad con el mapa de Septiembre. La relación fue calculada de nuevo obteniéndose un coeficiente de 97,65 por ciento (P.56).

Puede deducirse por lo tanto que el manto se encontraba prácticamente en régimen permanente en Septiembre de 1971.

Esto tiene una consecuencia muy importante para la explotación del acuífero. Al final del período seco, cuando la alimentación es más reducida, el manto es capaz de proporcionar el caudal que le solicitaban las explotaciones de 1971, sin necesidad de gastar sus reservas, a partir solamente de las alimentaciones que recibe por las fronteras Norte y Noreste y en pequeña proporción, por los afloramientos.

Dicho de otro modo, el nivel de extracciones de 1971 había llevado el acuífero a un estado piezométrico estable, en el cual la mayor parte de flujo natural del Campo de Níjar era captado y sólo una parte se escapaba hacia el mar.

La baja de los niveles observada durante los últimos diez años ha hecho pasar el acuífero de su estado estable inicial, con la casi totalidad del agua saliendo al mar, al estado descrito anteriormente donde los bombeos del Campo de Níjar recuperan en gran parte este flujo.

Era necesario para impedir que un importante caudal se perdiese al hacer descender de manera apreciable los niveles para que el gradiente hacia el mar fuese menos pronunciado.

Aunque todo estudio hidrogeológico, realizado sobre el terreno o sobre el ordenador, está sujeto a posibilidades de error, lo que nos permite afirmar con gran seguridad que los niveles de Septiembre estaban muy próximos a la estabilización, es la gran sensibilidad, observada durante el calaje, del sistema Campo de Níjar a toda variación local de la transmisividad, y la ausencia de coeficiente de almacenamiento en las ecuaciones que definen el régimen permanente ya que este parámetro le conocemos ciertamente con mucha menos precisión.

Si se mantienen las condiciones de explotación de 1971, los niveles a partir de Septiembre se modificarán al modificarse los caudales de extracción y de infiltración en los meses sucesivos, para volver al final de Septiembre al mismo régimen estabilizado. Esto constituye lo que se llama un régimen cíclico alimentado en el cual las variaciones anuales observadas serán simplemente fluctuaciones estacionales que tendrán por asíntota el régimen de Septiembre de 1971.

Si se mantuviesen los caudales de 1971, con condiciones de alimentación análogas, se observaría cada año un régimen prácticamente idéntico. Los descensos al final del período seco no podrían ser mayores que los registrados el 28 de Septiembre, puesto que para esa fecha se alcanzaba prácticamente el régimen permanente.

Por otra parte los descensos durante el período de recarga serán inferiores a éstos, puesto que el historial de los pozos que disponen de él demuestra que los niveles anteriores a 1971 han tenido tendencia a subir en ese período.

16.4.– FASE DE PREVISION

16.4.1.– LIMITACIONES IMPUESTAS POR LOS CAUDALES DECLARADOS

Contestado el primer punto era necesario prever las modificaciones que un aumento del caudal de extracción o de alimentación provocarían en el régimen alimentado estabilizado de 1971.

De un modo puramente descriptivo podría decirse que cualquier aumento de los caudales de extracción se traduciría, de no variar las condiciones de alimentación, y al final del período seco por:

1º) Una nueva disminución del flujo que transmita hacia el mar y por lo tanto por una penetración del bisel salado en la parte inferior del acuífero.

2º) Un nuevo descenso al final del estiaje de los niveles respecto a los niveles de Septiembre de 1971.

Era necesario cuantificar esta penetración y estos descensos y determinar su evolución en el tiempo.

En principio un aumento de los caudales de extracción hubiera podido estimarse aumentando en distintas proporciones los caudales globales mensuales de extracción de 1971. Con estos valores hubiera podido simularse los distintos regímenes transitorios correspondientes.

Como ya se ha indicado anteriormente había sido observado que en el mes de octubre las declaraciones de extracciones carecían de exactitud. Así pues antes de simular los distintos regímenes transitorios, se procedió a un ensayo de verosimilitud.

Para ello se calculó el régimen permanente correspondiente a los caudales anuales estimados para los distintos pozos y a las alimentaciones medias anuales de infiltración calculadas. El régimen permanente simulado demostró que de ser ciertos los caudales afectados, los niveles hubieran debido estabilizarse en unas cotas muy superiores a las medidas en Septiembre de 1971, siendo las diferencias mucho más acusadas de nuevo en la parte Norte del manto.

Por otra parte, al haber aumentado sin cesar las explotaciones en el Campo de Níjar, los caudales afectados hubieran debido ser los máximos que desde el comienzo de las explotaciones se hubieran dado y nunca hubiera sido posible el alcanzar los niveles de 1971.

Tres causas de error eran posibles:

1º) Un fuerte error por defecto en el cálculo de las infiltraciones.
2º) Un fuerte error en el cálculo de las necesidades de agua del Campo de Níjar.
3º) Inexactitud en las declaraciones de los agricultores.

En el momento de realizar la fase de previsión se habían reunido estas declaraciones hasta el mes de Mayo de 1972. Para completar los caudales anuales de extracción sobre todos los pozos, se consideró que los caudales de los meses de Mayo y Junio serían análogos a los de Julio de 1971.

La suma total de las declaraciones era del orden de los 5 Hm3, mientras que las necesidades del Campo calculadas por los coeficientes facilitados por el INC y las declaraciones de hectáreas de regadío, sin tomar en cuenta las pérdidas en las canalizaciones, eran del orden de los 17 Hm3.

Comoquiera que la región se ha desarrollado con creciente prosperidad, se consideró que los valores de los caudales declarados eran totalmente ficticios, y que no era posible tomarlos como datos de partida para calcular los caudales de sobreexplotación. Esto impedía seguir el método previsto para simular el comportamiento del manto sometido a un aumento de las explotaciones.

Fue por ello necesario, para estimar de alguna manera este efecto, el adoptar una serie de hipótesis y el emplear un método distinto que pasamos a exponer seguidamente.

16.4.2.– METODO DE SUPERPOSICION DE EFECTOS

Debido a la linearidad en H de los operadores diferenciales que representan las leyes del flujo subterráneo, se puede aplicar el principio de superposición al cálculo de la influencia de toda nueva extracción.

Empecemos a contar el tiempo desde el 28 de Septiembre de 1971. Supongamos que no se modifiquen las condiciones de alimentación y explotación posteriormente al ciclo Septiembre 71 – Septiembre 72. Este ciclo se repetiría indefinidamente, con una ligerísima tendencia al descenso de niveles.

Supongamos ahora que el día D pongamos en marcha una explotación P en una zona dada. La piezometría que se observaría el día D + n será la suma de la piezometría del régimen cíclico estabilizado (correspondiente a las explotaciones y modos de explotación del ciclo 71–72 aunque no las conozcamos), y del descenso calculado para el día n, imponiendo:

- Alimentación nula (pues ya está tomada en cuenta en el régimen natural)
- Mismas condiciones de flujo nulo
- Bombeos nulos excepto en la explotación P
- Potencial O en todas las mallas a potencial impuesto
- Condición inicial H=o para el día D.

En efecto, sea la ecuación del régimen cíclico estabilizado:

$$\text{Div}\ \left\{\overline{\overline{T}}\ \text{grad}\ [\overline{H}\ (t)]\right\} + \overline{Q}\ (t) = \frac{S\ \delta \overline{H}\ (t)}{\delta t}$$

Buscamos la solución de:

$$\text{Div}\ \left\{\overline{\overline{T}}\ \text{grad}\ [\overline{H}'\ (t)]\right\} + \overline{Q}\ (t) + \overline{q}\ (t) = \frac{S\ \delta \overline{H}'\ (t)}{\delta t}$$

Donde q (t) es el nuevo bombeo previsto, que puede variar con el tiempo.

Sea $h'\ (t) = H'\ (t) - h\ (t)$

Sustituyendo

$$\text{Div}\ [T\ \text{grad}\ H(t) + h'(t)] + Q(t) + q(t) = \frac{S\ \delta H\ (t)}{\delta t} + \frac{S\ \delta h'\ (t)}{\delta t}$$

Pero teniendo en cuenta la linearidad, y que H verifica la primera ecuación, tendremos que

$$\text{Div}\ \ T\ \text{grad}\ h\ (t) + q\ (t) = \frac{S\ \delta h'}{\delta t}$$

que es la ecuación a resolver en superposición para tener el nuevo nivel.

Para las condiciones en los límites, tendremos que tener en cuenta que:

Un límite de caudal impuesto de H o de H' nos da un límite a flujo nulo para h', la suma de los dos conserva para H' el cadal impuesto deseado

Un límite de flujo nulo seguirá siendo un límite flujo nulo

Un límite de potencial impuesto de H sigue siendo de potencial impuesto para H', pero de potencial impuesto nulo para h'. La suma de los dos nos da el potencial impuesto deseado para H'

Todos los caudales de alimentación o de extracción de H desaparecen de la ecuación de h'.

Dicho en términos más sencillos el método de superposición de efectos nos permitirá dar las respuestas a las preguntas de cual será la influencia de una nueva extracción, sin que sea necesario pasar por la simulación anual del modelo total, que sería obligatoriamente imprecisa al no conocerse los caudales reales bombeados.

El problema queda limitado a calcular el descenso producido por q (t) el día n en las condiciones expuestas, y a superponer este efecto a la piezometría del día D.

Si q fuese constante en el tiempo sería sencillo calcular en régimen transitorio el estado del manto al cabo de n días en las condiciones expuestas, y superponer este estado al del día D medido en la fecha correspondiente del ciclo.

Pero sería ficticio considerar que una nueva explotación va a mantenerse constantemente con el mismo caudal.

Es lógico pensar que, de no cambiarse el tipo de cultivos, las nuevas explotaciones seguirán la marcha general de las existentes en el Campo de Níjar. Para calcular entonces el régimen transitorio debido a q (t) variable en el tiempo, sería necesario modular este caudal en función de los caudales mensuales del Campo. Esto no era posible al haberse comprobado que los caudales mensuales declarados eran inexactos. Sin embargo si se llega a prever la puesta en explotación de una nueva zona, y los caudales mensuales correspondientes a ella cualesquiera que sean, el modelo está preparado para simular en una sola pasada el efecto sobre el manto de las nuevas extracciones en la fecha que se desee.

Un modelo calado puede ser considerado como una herramienta, dispuesta a ser utilizada cuando se considera oportuno.

Aunque el método que venimos de indicar es el único que nos permitiría prever para cualquier fecha el efecto de una nueva explotación, podemos proceder de otro modo, menos exacto y más limitado, con objeto de dar una orientación respecto al comportamiento del manto sometido a un aumento de las extracciones.

16.4.3.– TIEMPO NECESARIO PARA ALCANZAR EL REGIMEN PERMANENTE

Una demostración rigurosa de los puntos que vamos a citar puede encontrarse en la nota LHM/N72/22 de CUONG LE VAN del laboratorio de Hidrogeología matemática de la Escuela de Minas de París.

Si en un manto en equilibrio se introduce una perturbación cualquiera constante en el tiempo, el manto tenderá a alcanzar un nuevo estado de equilibrio para lo cual empleará teóricamente un tiempo infinito.

El tiempo total al cabo del cual el manto habrá alcanzado a m°/o el régimen permanente es independiente del caudal matemático (extracciones, alimentación directa y alimentación a través de las fronteras a potencial impuesto).

Si en un manto en equilibrio se introduce una perturbación cíclica Q (t) variable en el tiempo dentro del ciclo, el manto tenderá a alcanzar un estado de equilibrio cíclico para lo cual empleará teóricamente un tiempo infinito.

El tiempo t al cabo del cual el manto habrá alcanzado a m°/o el estado de equilibrio cíclico es el mismo que el que empleará para alcanzar a m°/o el régimen permanente correspondiente a una perturbación cualquiera constante.

En el sistema del Campo de Níjar el primer factor a determinar, era el tiempo que tardaría el manto en alcanzar prácticamente un régimen permanente, sometido a una perturbación constante.

Este tiempo es independiente del caudal matemático aunque en todo rigor depende de la posición de la perturbación respecto a los límites.

Se procedió por lo tanto a afectar una perturbación significativa a una región centrada respecto a ellos. Como veremos, el tiempo que tarda el manto en alcanzar prácticamente un régimen permanente es bastante breve debido a la gran difusividad del acuífero, por lo que el error cometido al considerar que una perturbación en otra zona produciría prácticamente un régimen permanente al cabo del mismo tiempo es bastante pequeño. De todos modos es prudente mayorar este tiempo.

Se simuló primero el régimen permanente correspondiente a un bombeo único de 100 l/s aplicado a una malla centrada, con valores iniciales de piezometría y potenciales impuestos nulos y con los valores obtenidos de T y S.

Calculado éste, se simuló el régimen transitorio del manto sometido a las mismas condiciones, con el fin de determinar que tanto por ciento del régimen permanente se iría alcanzando en distintas épocas. Este tanto por ciento era calculado sistemáticamente por el ordenador establecido el cociente: (Norma de los valores absolutos en el instante t)/(Norma de los valores absolutos en permanente).

Se eligió esta norma y no una norma de Hölder con el fin de no restar importancia a los pequeños descensos que se produjesen en zonas muy alejadas de la perturbación.

Los tantos por cientos alcanzados para cada época eran los siguientes:

Al cabo de 1 mes	43,23
2 meses	53,99
3 meses	62,60
4 meses	69,60
6 meses	75,85
12 meses	83,21
24 meses	91,10

Prácticamente puede considerarse que el manto habrá alcanzado un estado sensiblemente estable al cabo de dos o tres años a partir del instante de introducción de la perturbación.

Si hacemos la hipótesis de que una nueva explotación seguirá el ritmo de las ya existentes, y de que los niveles se verán más afectados al final del período seco, la piezometría de esta época, dos o tres años después de introducida la perturbación, será la suma de la piezometría del 28 de Septiembre de 1971 y de los descensos correspondientes

al régimen permanente producido por el caudal en período seco de la perturbación actuando por sí sola.

Como medida de seguridad y para contrarrestar el moderado optimismo de las hipótesis realizadas en la elección de los límites, podría considerarse que al cabo de dos años los descensos producidos por una perturbación son los correspondientes a su régimen permanente.

Para calcular el efecto de un aumento del 20 por ciento de las explotaciones, aplicado a una zona cualquiera, se procederá de la manera siguiente:

1º) Se calculará el caudal correspondiente al 20 por ciento de las extracciones totales durante el período 11 de Julio — 28 de Septiembre de 1.971.

2º) Se afectará este caudal a la zona donde se prevé la nueva explotación.

3º) Partiendo de valores iniciales nulos de piezometría y potenciales impuestos se determinarán los descensos en régimen permanente producidos por el caudal calculado.

4º) Se superpondrán estos descensos a los niveles del 28 de Septiembre de 1971.

5º) Los niveles obtenidos serán los correspondientes al final de Septiembre del segundo o tercer año sucesivo al de introducción de la nueva explotación.

6º) Caso de no modificarse nuevamente las explotaciones, los niveles seguirán siendo los mismos en los Septiembres sucesivos, con una ligera tendencia al descenso.

Como se vé, este método nos permite obtener valiosas orientaciones respecto al comportamiento del manto sometido a nuevas explotaciones, pero no es en modo alguno el más idóneo, pues no se pueden determinar con él efectos a corto plazo o en una época distinta del final del estiaje. Tampoco permite predecir el efecto de un aumento progresivo de las explotaciones o de un cambio de la política de extracción. Todo ésto sería muy sencillo siguiendo el método indicado en el apartado 16.4.2, pero ello obligaría a nuevas simulaciones y creemos más juicioso esperar a que el problema se plantee para realizarlas.

Si nos hemos decidido a emplear este segundo método, aún conscientes de sus limitaciones, ha sido con objeto de poder dar rápidamente una idea del peligro que entraña un aumento de las explotaciones en el Campo de Níjar.

16.4.4.– EFECTO FINAL EN ESTIAJE DE UN AUMENTO DE LAS EXPLOTACIONES

Siguiendo la línea orientativa adoptada, se ha calculado los efectos de un aumento de las explotaciones en las zonas A, B y C que fueron señaladas como zonas más probables de aumento de las extracciones. (P.57).

Se calculó cual era el caudal Q correspondiente al 20 por ciento de los caudales totales medios del período Julio—Septiembre.

Siguiendo la marcha indicada anteriormente se determinaron los descensos producidos en régimen permanente por las extracciones siguientes:

Caudal Q aplicado a la zona A	(P.58)
Caudal Q aplicado a la zona B	(P.59)
Caudal Q aplicado a la zona C	(P.60)
A + B + C	(P.61)

Con estos resultados es muy sencillo hacer una hipótesis correspondiente a otro tanto por ciento de sobreexplotación sobre las mismas zonas.

En efecto, debido a la linearidad de los operadores diferenciales utilizados, los descensos en régimen permanente son proporcionales a Q y se puede aplicar por otra parte la superposición de efectos:

Ejemplo: Supongamos que queremos determinar el efecto de una sobreexplotación repartida de la manera siguiente:

10 %	sobre la zona A
5 %	sobre la zona B
30 %	sobre la zona C

Se tomarán las mitades de los descensos correspondientes a la simulación realizada con el 20 por ciento sobre la zona A, el cuarto de los descensos sobre B y los 3/2 de los descensos sobre C, se añadirán todos estos descensos y se superpondrán al mapa de Septiembre de 1.971.

Conviene señalar que según sea la hipótesis adoptada, los niveles en período húmedo pueden llegar a ser inferiores a los niveles al final del estiaje, por lo que no será exacto considerar que de esta manera se estima cual es el descenso máximo que puede sufrir el manto, y sólo debe ser realizado este cálculo a título orientativo.

16.4.5.– SIMULACION DE LA PIEZOMETRIA QUE SE HUBIESE OBTENIDO EN SEPTIEMBRE DE 1971 DE HABERSE AUMENTADO LAS EXTRACCIONES

También de manera orientativa se ha simulado cuales hubiesen sido los niveles del 28 de Septiembre si desde el 11 de Julio se hubieran hecho extracciones más importantes que las realizadas, con las hipótesis siguientes:

20 % de aumento aplicado a la zona A (P.62)
40 % de aumento aplicado a la zona A (P.63)
20 % de aumento aplicado a la zona B (P.64)
40 % de aumento aplicado a la zona B (P.65)
20 % de aumento aplicado a la zona C (P.66)
40 % de aumento aplicado a la zona C (P.67)
20 % de aumento aplicado a la zona A + B + C (P.68)
40 % de aumento aplicado a la zona A + B + C (P.69)

16.4.6.– SIMULACION DE LOS EFECTOS DE UNA VARIACION DE ALIMENTACION

Aunque la variación de las condiciones de alimentación podría afectar a los valores de los límites a potencial impuesto, ninguna información nos permite cuantificar esta variación.

Admitamos por lo tanto, en primera aproximación y con cierto optimismo, que los valores de los potenciales impuestos se mantendrán en distintas condiciones de pluviometría, aunque luego veremos como tratar este problema.

La infiltración directa sobre los afloramientos captados por las mallas del modelo podría modificarse al variar la piezometría. Distintas hipótesis de reparto de pluviometría en el tiempo podrían simularse por el método expuesto en el apartado 16.4.2.

Con el método orientativo adaptado sólo tendremos en cuenta por ahora las variaciones de pluviometría durante el período de estiaje. Se han calculado así los regimenes permanentes finales producidos por una lluvia útil de 5 mm en el período de estiaje actuando únicamente sobre los afloramientos de la zona de Sierra Alhamilla y por la misma lluvia actuando sobre los afloramientos contiguos a La Serrata (P.70 y P.71).

Con estos valores pueden hacerse combinaciones lineales superponibles a los descensos en distintas hipótesis de explotación.

16.4.7.– FIABILIDAD DE LAS FUTURAS PREVISIONES

El dominio a estudiar previsto estaba limitado al Norte por la isopieza 105, al Noroeste por la Falla cercana a la Sierra Alhamilla y al Sur por el límite de la cuenca hidrográfica.

La necesidad de buscar fronteras hidrogeológicas más reales y de alejar al máximo los límites de la zona de explotación extendió considerablemente el modelo y los parámetros desconocidos fueron calculados en la fase de identificación. El nuevo recinto del modelo sólo intentaba optimizar la simulación del dominio previsto. Debe tenerse presente que un modelo puede aprovechar al máximo la información existente, pero no puede crearla por sí mismo. Las previsiones del efecto de futuras explotaciones situadas fuera del recinto previsto adolecerán de menores garantías de fiabilidad.

16.4.8.– OTRAS POSIBILIDADES DEL MODELO

De las tres fronteras a potencial compuesto sólo la PI–3 presenta totales garantías de que no sufrirá modificación alguna si varían apreciablemente las extracciones cercanas a ella. Las previsiones correspondientes a fuertes explotaciones contiguas a las fronteras PI–1 y PI–2 adolecerán de optimismo en el estado actual del modelo y no deberá atribuírseles un alto grado de confianza.

Si en la práctica estas explotaciones son realizadas, y se comprueba que afectan a los valores del potencial impuesto, podrían estudiarse pese a todos sus efectos mediante una modificación del modelo consistente en suponer, con hipótesis más adaptada al caso, que pese a las modificaciones de niveles el gradiente se mantendrá constante en las fronteras afectadas.

Para ello se transformarían éstas en límites a flujo nulo y se impondría en las mallas adyacentes el caudal de alimentación proveniente de estos límites.

De un modo análogo, si se quiere suponer que una sequía prolongada disminuiría la alimentación a través de los límites PI–1 y PI–2, se tomarían éstos como fronteras a flujo nulo y se impondrían a lo largo de ellos un caudal de extracción equivalente al déficit de alimentación.

El conjunto de estos cálculos puede ser bastante largo y costoso y es preferible antes de realizarlos esperar a que las circunstancias futuras puedan hacerlos necesarios.

16.5.– CONCLUSIONES DEL MODELO

a) **Fase de identificación**

1.– Durante el período adoptado para la fase de identificación, 11 de Julio a 28 de Septiembre de 1971, las fronteras elegidas para el modelo no han sufrido variación y representan el fenómeno real.

2.– La fase de identificación, particularmente meticulosa, ha permitido obtener con alta precisión el mapa total de transmisividades las pequeñas variaciones de sus valores reflejándose inmediatamente sobre la piezometría, especialmente en la zona dolomítica de Níjar.

3.– El mapa de transmisividades hallado ha confirmado zonalmente los valores calculados en el estudio previo de terrenos y la existencia de una falla situada al Sur de Sierra Alhamilla, poniendo de manifiesto su papel de barrera semitransmisiva.

Ha sido hallado también un contraste de transmisividades a lo largo de una línea paralela al mar que fue confirmado posteriormente en un estudio de conductividades.

4.– Los niveles simulados correspondientes al 28 de Septiembre de 1971, presentan una extraordinaria concordancia con los valores medidos en la misma fecha.

5.– No disponiendo de un historial significativo de niveles y extracciones ha sido imposible realizar un calaje preciso del coeficiente de almacenamiento. El orden de magnitud de este parámetro, calculado en el estudio previo, concuerda perfectamente con el resultado de la simulación de 11 de Julio al 28 de Septiembre. Por otra parte un conocimiento preciso del almacenamiento no es en modo alguno imprescindible para estudiar el comportamiento actual del manto.

6.– La falta de exactitud en las declaraciones de las explotaciones realizadas, posteriormente al 28 de Septiembre de 1971, han impedido extender el período de identificación. Este período es extremadamente breve, por lo que sería aconsejable afinar el modelo a medida que se disponga de períodos más largos de observación y se puedan comparar las hipótesis realizadas con la evolución real del sistema.

b) Comportamiento actual del sistema

1.– El 28 de Septiembre de 1971 el sistema Campo de Níjar se encontraba prácticamente en régimen permanente y era capaz al final del período seco, cuando la alimentación es más reducida, de proporcionar el caudal que le exigían las explotaciones en esta época sin necesidad de gastar sus reservas, a partir solamente de las alimentaciones que le llegaban por las fronteras, y, en menor parte, de las infiltraciones en los afloramientos contenidos en el recinto del modelo.

2.– La zona dolomítica de Níjar es la principal responsable de la alimentación del campo.

3.– El descenso de los niveles observado durante los últimos diez años ha hecho pasar el sistema desde un estado estable inicial, con la casi totalidad del flujo saliendo al mar a otro estado estable influenciado, en el cual las explotaciones captan la mayor parte de este flujo y sólo una pequeña parte sale al mar.

c) **Previsión de las explotaciones futuras**

1.– Cualquier aumento de las explotaciones respecto a las realizadas en 1971 se traducirá, de no variar las condiciones de alimentación, por una mayor penetración del bisel salado en la parte inferior del acuífero, y por un nuevo descenso de los niveles de mayor o menor importancia según las diferentes zonas.

2.– El modelo matemático está preparado para poder calcular, en cualquier fecha y zona, el efecto de cualquier modificación y de las explotaciones de la alimentación existentes, así como la influencia de las nuevas explotaciones que puedan realizarse.

Las previsiones presentan menores garantías de fiabilidad a medida que las explotaciones se alejan del recinto inicial en el que se realizó el estudio de terreno.

3.– Para simular el efecto de una modificación de las condiciones de explotación en una o varias zonas, es preciso conocer cuales serán los incrementos correspondientes de caudales en cada época. El número de posibilidades siendo prácticamente infinito, se ha estimado más juicioso esperar a que el problema se plantee antes de proceder a simulación alguna de este tipo.

4.– A título orientativo se han calculado cuales serán los descensos finales producidos en estiaje por distintas extracciones en tres zonas señaladas como de posible aumento de las explotaciones. Estos descensos siendo proporcionales al caudal de extracción, las previsiones realizadas pueden aplicarse a otras hipótesis de explotación sobre las tres zonas.

5.– Ha sido calculado el tiempo al cabo del cual el sistema del Campo de Níjar, sometido a una perturbación constante y partiendo de un régimen estabilizado, alcanza prácticamente un nuevo régimen permanente correspondiente a dicha perturbación. Este período es de dos o tres años.

Si se somete el sistema a una perturbación cíclica, el tiempo al cabo del cual se alcanza un régimen cíclico estabilizado con el mismo porcentaje de error, es asimismo de dos o tres años.

6.– Los descensos indicados en el punto 4 serán prácticamente los correspondientes al final del estiaje, dos o tres años después de la puesta en marcha de las nuevas explotaciones.

7.– Las simulaciones realizadas tienen un carácter aproximativo y orientativo y no deben ser consideradas como el fin principal del modelo.

El modelo matemático construído es una herramienta al servicio del hidrogeólogo, para que éste pueda tener una rápida y valiosa ayuda en cualquier problema que se le pueda plantear con el fin de tomar las decisiones pertinentes respecto a las condiciones de explotación del Campo de Níjar.