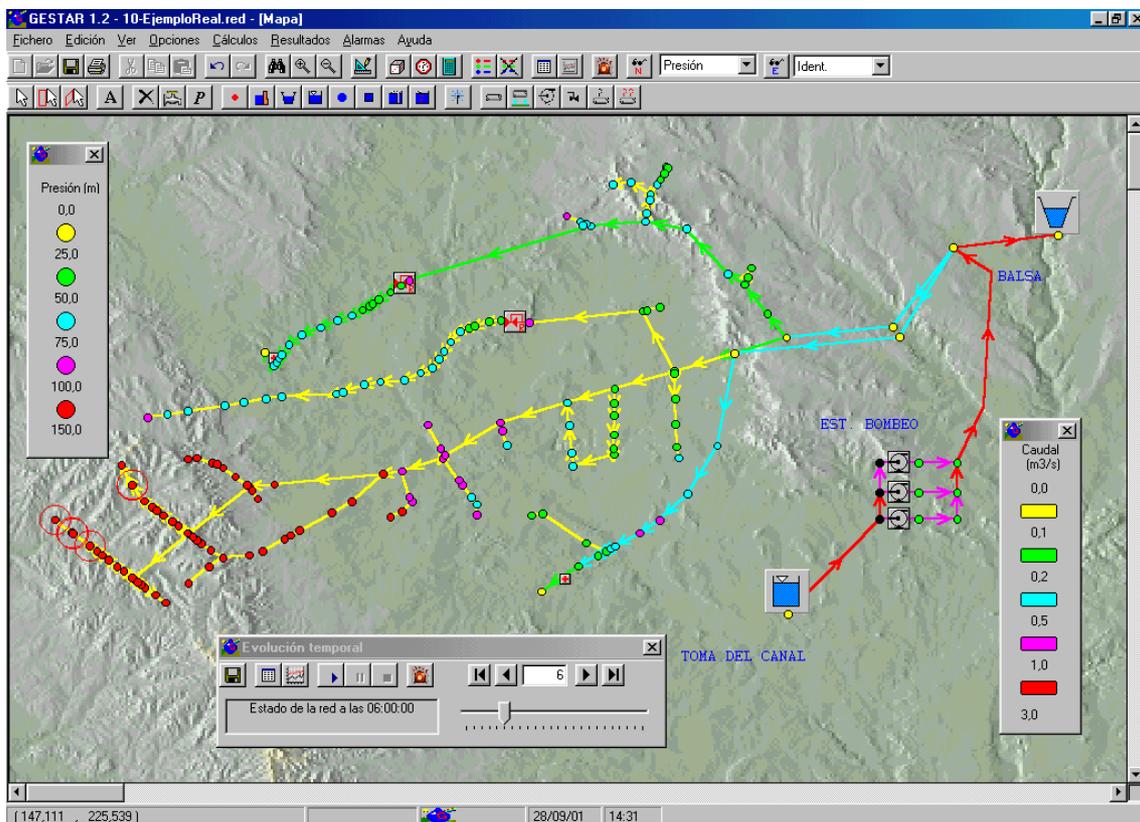


GESTAR

Versión 1.2

GUÍA DEL USUARIO

Programa de Gestión y Simulación Generalizada de Redes de Distribución a la Demanda y Riego por Aspersión



Escuela Universitaria Politécnica de Huesca

Ingenieros Técnicos Agrícolas

Universidad de Zaragoza

Carretera Zaragoza s/n. 22071-Huesca

Teléfono: 974 23 93 29

E-mail: gestar@posta.unizar.es

Web: <http://gestar1.unizar.es/inicio.htm>

Proyecto financiado por:

Gobierno de Aragón (Departamento de Agricultura y Medio Ambiente; CONSID P-43/967)

Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (HID97-0999, HID98-0341-C03-02)

ÍNDICE

1. INSTALACIÓN DE <i>GESTAR</i>	5
1.1 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS.	5
1.2 PROCESO DE INSTALACIÓN.	5
1.3 ADVERTENCIAS SOBRE EL PROCESO DE INSTALACIÓN.	6
2. VISIÓN GENERAL	8
2.1 INTRODUCCIÓN	8
2.2 APLICACIONES DE <i>GESTAR</i>	12
2.3 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE <i>GESTAR</i>	20
2.4 TÉCNICA DE ANÁLISIS Y MÉTODOS NUMÉRICOS	23
2.5 MODELIZACIÓN DE COMPONENTES	26
2.5.1 TIPOS DE NODOS RECONOCIDOS	27
2.5.2 TIPOS DE ELEMENTOS HIDRÁULICOS RECONOCIDOS	29
2.6 TÉCNICAS DE DISEÑO INVERSO	32
2.7 HERRAMIENTAS PARA LA CREACIÓN DE REDES	34
2.8 CONEXIONES CON BASES DE DATOS	36
2.9 SALIDA DE RESULTADOS	37
2.10 GENERACIÓN DE ESCENARIOS	37
2.11 ALARMAS	39
2.12 COMUNICACIÓN CON OTROS PROGRAMAS	40
3. UN PRIMER EJEMPLO GUIADO DE TRABAJO	41
3.1 GENERACIÓN DE LA TOPOLOGÍA CONSTRUCTIVA.	41
3.2 GENERACIÓN DE ESCENARIOS.	49
3.3 CÁLCULO DE LA RED Y VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS.	51
3.4 EVOLUCIÓN TEMPORAL	55
4. BARRA DE HERRAMIENTAS	61
4.1 ÍNDICE DE ICONOS.	61
4.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS ICONOS.	65
4.2.1 TIPOS DE NODOS.	100
4.2.2 TIPOS DE ELEMENTOS.	115
4.3 AJUSTE AUTOMÁTICO	141
5. MENÚS DE PROGRAMA	145
5.1 MENÚ <i>FICHERO</i>	147
5.2 MENÚ <i>EDICIÓN</i>	152
5.3 MENÚ <i>VER</i>	153
5.4 MENÚ <i>OPCIONES</i>	157
5.5 MENÚ <i>CÁLCULOS</i>	162
5.6 MENÚ <i>RESULTADOS</i>	171
5.7 MENÚ <i>ALARMAS</i>	172
5.8 MENÚ <i>AYUDA</i>	177

6. GENERACIÓN DE ESCENARIOS Y SALIDA DE RESULTADOS	179
6.1 GENERACIÓN DE ESCENARIOS.	179
6.1.1 GENERACIÓN GRÁFICA.	181
6.1.2 ABRIR DIGITALIZACIÓN.	182
6.1.3 IMPORTAR BASE DE DATOS DESDE ACCESS.	185
6.1.4 ENTRADA DE DATOS DESDE AUTOCAD.	185
6.1.5 RECOMENDACIONES PARA LA GENERACIÓN DE MODELOS	185
6.2 SALIDA DE RESULTADOS.	189
6.2.1 CODIFICACIÓN POR COLORES.	190
6.2.2 TABLA DE VALORES NUMÉRICOS.	193
6.2.3 FICHERO ASCII DE VALORES NUMÉRICOS	196
6.2.4 VISUALIZACIÓN DE VALORES NUMÉRICOS.	197
6.2.5 LISTADO EMERGENTE DE VALORES NUMÉRICOS.	197
6.2.6 EXPORTACIÓN DEL ESCENARIO A ACCESS.	198
6.2.7 TABLAS Y GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN TEMPORAL.	200
7. COMUNICACIÓN EXTERNA	207
7.1 COMUNICACIÓN CON ACCESS.	207
7.1.1 EXPORTACIÓN DE UNA RED COMO BASE DE DATOS.	208
7.1.2 IMPORTACIÓN DE UNA BASE DE DATOS.	210
7.2 COMUNICACIÓN CON DIOPRAM.	211
7.3 COMUNICACIÓN CON EPANET.	217
8. EJEMPLOS DE REDES	219
8.1.- DEMANDA1.RED.	220
8.2.- DEMANDA2.RED.	224
8.3.- ASPERSOR_IDEAL.RED.	225
8.4.- ASPERSOR_REAL.RED.	227
8.5.- ROTURA.RED.	228
8.6.- MALLADA.RED.	230
8.7.- DISEÑO_INVERSO.RED.	230
8.8.- LOCALIZA_FUGA.RED.	231
8.9.- COMBINADA.RED.	234
8.10.- EJEMPLOREAL.RED.	236
ANEXO I. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y OPERATIVAS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN PARA RIEGO A PRESIÓN.	239
AI.1 DEFINICIONES.	239
AI.2 EL PARADIGMA DE LAS REDES ESTRICTAMENTE RAMIFICADAS.	241
AI.2.1 DIMENSIONADO DE REDES ESTRICTAMENTE RAMIFICADAS.	241
AI.2.2 CÁLCULO DE PRESIONES EN CADA ESCENARIO.	242
AI.3 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LAS REDES DE RIEGO A PRESIÓN.	243
AI.3.1 TOPOLOGÍA.	244
AI.3.2 DENSIDAD DE LA RED E INTENSIDAD DE LOS CONSUMOS.	246
AI.3.3 ESTRUCTURA Y CONTROL DE LA DEMANDA.	247
AI.3.4 TIPO DE CONDICIONES DE CONTORNO.	249
ANEXO II. MODELIZACIÓN DE LOS HIDRANTES	255

AIL.1 OPERACIÓN DEL REGULADOR DE PRESIÓN.	255
AIL.2 OPERACIÓN DEL LIMITADOR DE CAUDAL.	256
AIL.3 RESPUESTA HIDRÁULICA DE LOS HIDRANTES.	257
AIL.4 MODELIZACIÓN DE LOS HIDRANTES EN GESTAR.	261

ANEXO III. MODELIZACIÓN DE EMISORES **265**

ANEXO IV. PROBABILIDAD DE APERTURA DE UN HIDRANTE **269**

ANEXO V. SISTEMA GESTOR DE BASES DE DATOS **271**

AV.1 MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS DE TUBERÍAS.	272
AV.2 MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS DE VÁLVULAS.	273
AV.3 MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS DE ACCESORIOS.	275
AV.4 MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS DE EMISORES.	275

ANEXO VI. PÉRDIDAS EN BIFURCACIONES **277**

ANEXO VII. VENTANA DE PARÁMETROS **281**

AVII.1 MÁXIMO NÚMERO DE ITERACIONES.	282
AVII.2 TIPO DE CONTROL DE LA CONVERGENCIA	282
AVII.3 TIPO DE INICIALIZACIÓN	283
AVII.4 VALOR DE INICIALIZACIÓN	283
AVII.5 COEFICIENTE DE RELAJACIÓN	284
AVII.6 PARÁMETRO DE CONDICIONADO	284

ANEXO VIII. CONEXIÓN CON AUTOCAD **285**

ANEXO IX. ESTRUCTURA DE LAS BASES DE DATOS DE REDES DE GESTAR **287**

AIX.1 INTRODUCCIÓN	287
AIX.2 DESCRIPCIÓN DE LAS TABLAS DE LAS BASES DE DATOS DE REDES.	287
AIX.3 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS DE LAS BASES DE DATOS DE REDES.	288
AIX.1.1 TABLA ACCESORIOS.	288
AIX.1.2 TABLA BALSAS.	289
AIX.1.3 TABLA BOMBAS.	289
AIX.1.4 TABLA CONDUCCIONES.	290
AIX.1.5 TABLA CONSUMO CONOCIDO.	291
AIX.1.6 TABLA DOBLE CONDICIÓN.	292
AIX.1.7 TABLA ELESK.	293
AIX.1.8 TABLA EMBALSES.	294
AIX.1.9 TABLA EMISORES.	294
AIX.1.10 TABLA HIDRANTES.	296
AIX.1.11 TABLA NODOS DE UNIÓN.	297
AIX.1.12 TABLA PÉRDIDAS.	297

AIX.1.13 TABLA <i>PRESIÓN REGULADA</i> .	298
AIX.1.14 TABLA <i>SIN CONDICIÓN</i> .	298
AIX.1.15 TABLA <i>VÁLVULAS</i> .	298
AIX.1.16 TABLA <i>VIS</i> .	299

ANEXO X. GOTEROS **301**

AX.1 INTRODUCCIÓN	301
AX.1.1 DEFINICIÓN	301
AX.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO POR GOTEO.	301
AX.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	302
AX.2.1 PARTES DE QUE CONSTA.	302
AX.2.2 SISTEMA DE FILTRADO.	303
AX.2.3 EQUIPO DE FERTILIZACIÓN.	303
AX.2.4 TUBERÍAS	304
AX.2.5 ACCESORIOS.	304
AX.2.6 DISPOSITIVOS DE CONTROL.	305
AX.2.7 ELEMENTOS DE SEGURIDAD.	305
AX.3 GOTEROS	306
AX.3.1 CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR UN GOTERO.	306
AX.3.2 RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO.	307
AX.3.4 FACTORES QUE AFECTAN AL CAUDAL DE UN GOTERO.	312
AX.3.5 TUBERÍAS PERFORADAS.	313

ANEXO XI. BOMBAS **314**

AXI.1. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA.	314
AXI.1.1 LOS TRES TIPOS DE CURVA	314
AXI.2 EXPRESIÓN DE LA POTENCIA ABSORBIDA POR UNA BOMBA.	317
AXI.2. ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.	318
AXI.2.1 CAPACIDAD PRÁCTICA DE ASPIRACIÓN.	318
AXI.2.2 N.P.S.H.	319

REFERENCIAS **322**

1. INSTALACIÓN DE *GESTAR*

Se presenta en este capítulo un conjunto de informaciones útiles para una correcta instalación de la aplicación *GESTAR*.

Sucesivamente se va a hacer referencia a los requerimientos mínimos necesarios para la instalación, al proceso de instalación en sí y a una serie de advertencias sobre dicho proceso. En el último apartado de este capítulo se ofrece un listado de problemas más frecuentes durante la instalación con sus correspondientes soluciones.

1.1 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS.

GESTAR 1.2 se encuentra disponible para *S.O. WINDOWS 9X* y *NT (3.51 ó superior)*. Hasta la versión preliminar *v0.2* (mayo de 1997) se mantuvieron compilaciones con apariencia y funcionalidad idénticas para *WINDOWS 3.X* y *WINDOWS 95*. A partir de esa fecha el desarrollo para *WINDOWS 3.X* fue congelado, habiendo quedado obsoleto. No obstante, todavía se encuentra a disposición de los usuarios interesados en la misma página de descarga en Internet de la versión 1.2.

Requiere un espacio de almacenamiento aproximado de 20 Mb de disco duro y ha sido probado satisfactoriamente sobre procesadores *486* y *Pentium* con 8Mb de memoria *RAM*, aunque es recomendable una disponibilidad de 32 Mb en función de los importantes recursos que consume el “interface” gráfico.

1.2 PROCESO DE INSTALACIÓN.

Para instalar la aplicación *GESTAR* desde discos de 3½” se introducirá en la disquetera el disco nº1 ejecutando el fichero *Setup.exe*. El instalador creará e irá pidiendo los discos y configurando automáticamente la aplicación en el directorio especificado por el usuario y cargará las librerías necesarias en el sistema. En ocasiones, si el sistema operativo sobre el que se instala carece de las librerías necesarias para la instalación o estas no están actualizadas, el instalador avisará de esta circunstancia y procederá a cargar como etapa previa los componentes precisos. Una vez terminada la carga, el usuario deberá reiniciar el sistema y comenzar de nuevo el proceso de instalación.

Si la instalación tiene lugar desde un CD-ROM o desde un directorio del disco interno que contenga todos los ficheros de instalación, el procedimiento comienza de

igual modo (ejecutando el archivo *Setup.exe*), encargándose el instalador de enlazar todas las llamadas a ficheros requeridos.

Si se trata de un CD-ROM con autoarranque, inserte el disco en la unidad correspondiente y seleccione la opción *Instalación de Gestar* en el menú que aparecerá automáticamente.

Para la instalación de Gestar a través de los ficheros descargados a través de Internet (<http://gestar1.unizar.es/inicio.htm>), se deberán descomprimir todos los ficheros en un mismo directorio para posteriormente ejecutar el fichero *Setup.exe*.

Dentro del directorio de instalación se crea el fichero *GESTAR.INI*, donde se especifican los valores por defecto que se adjudican a los números máximos de tipos de nodos y elementos reconocidos en *GESTAR*. Si la dimensión de su red no encaja en estos valores máximos, puede modificarlos.

1.3 ADVERTENCIAS SOBRE EL PROCESO DE INSTALACIÓN.

Si durante la instalación se cancela el proceso, los ficheros ya instalados serán eliminados. Asimismo, para desinstalar la aplicación bastará seguir el proceso habitual de desinstalación de *Windows*.

- ◆ Se debe tener en cuenta que, debido a la existencia de librerías del sistema operativo, que cuentan con diferentes versiones, pueden ocasionarse conflictos en el proceso de instalación, en caso de que éstas no puedan ser sobrescritas por las versiones que carga el instalador.

En particular se ha detectado que algunas versiones de la librería *VB40032.dll* son incompatibles con la versión que utiliza. En caso de recibir un mensaje del sistema durante el proceso de instalación que indique la falta de la versión correcta de una *DLL* inespecífica, borre de sus sistema la librería *VB40032.dll* y comience de nuevo la instalación, durante la cual se grabará en sus sistema la versión apropiada.

- ◆ Si el proceso de instalación se interrumpe con este mensaje: "*No se puede iniciar el programa principal de instalación. (CreateProcess() devolvió el código de error 0*000000C1H)*" la instalación no es posible debido a un previo intento de instalación fallido. Siga los siguientes pasos:
 1. En la carpeta de *Windows* (generalmente *C:\Windows* o *C:\Winnt*), busque el fichero *gestar.cab*. Si existe, bórralo.
 2. En la carpeta de archivos temporales (generalmente *C:\Windows\Temp* o *C:\Winnt\Temp*), busque un archivo llamado *Msftqws.pdw*. Si lo encuentra, bórralo.

3. Busque los siguientes archivos. Si alguno de ellos tiene un tamaño de 0 bytes, bórralo:

...\Windows\System\Vb6stkit.dll (o \Winnt\System32\Vb6stkit.dll)

...\Windows\St6unst.exe (o \Winnt\St6unst.exe).

2. VISIÓN GENERAL

2.1 INTRODUCCIÓN

GESTAR 1.2 constituye la primera versión de un paquete de simulación de sistemas presurizados de distribución de fluidos orientado al diseño, análisis y gestión de sistemas de riego. Ante la ausencia, limitación u obsolescencia de “software” específico de análisis y gestión de redes de riego presurizadas se ha acometido el desarrollo de *GESTAR* aprovechando la generalidad, flexibilidad y potencia de las técnicas de análisis habitualmente empleadas en sistemas hidráulicos complejos, convenientemente adaptadas a los propósitos de diseño y gestión de regadíos.

GESTAR aborda la simulación hidráulica de redes presurizadas en régimen estacionario en el contexto de los sistemas de riego utilizando procedimientos numéricos avanzados, que se conjugan eficazmente con un “interface” gráfico que permite la explotación cómoda y eficiente de tales recursos gracias a herramientas específicamente concebidas para ello.

Introduce además aproximaciones innovadoras y un conjunto de procedimientos avanzados que resuelven con seguridad una amplia gama de problemas prácticos que hasta el presente no se podían abordar o se analizaban rudimentariamente.

GESTAR comenzó su desarrollo en 1995 en virtud del convenio suscrito entre el *Departamento de Agricultura del Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza: “Modelización Hidráulica Avanzada y Evaluación de las Redes de Riego en Aragón”*. Posteriormente ha recibido el apoyo del *Consejo Superior de Investigación y Desarrollo del Gobierno de Aragón (P-43/96)* y de la *Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Programa Nacional de Recursos Hídricos HID97-0999)*.

El uso de la herramienta de simulación hidráulica avanzada, *GESTAR*, para el diseño, planificación de la explotación y supervisión de las demandas de riego, resulta necesario en todas las oficinas técnicas que proyectan sistemas de riego a presión y en cualquier comunidad de regantes que desee abordar una eficaz modernización de su gestión. *GESTAR* posibilita prevenir o resolver fácilmente multitud de problemas operativos, puesto que permite anticipar inmediatamente la respuesta de la red ante múltiples estados de demanda, supuestos o verificados, y detectar las causas que originan las disfunciones. Herramientas informáticas como *GESTAR* son asimismo imprescindibles integradas en todo sistema centralizado de control en tiempo real y telemando de redes colectivas, con objeto de analizar el estado del sistema y explorar el campo posible de alternativas de actuación y regulación óptima.

GESTAR se encuentra en un proceso de permanente ampliación y depuración, pero la versión que se ofrece incorpora ya de forma operativa toda una serie de características que hacen de él una herramienta de suma utilidad, tanto en las etapas de proyecto y ejecución de las infraestructuras, como en la posterior gestión de las redes durante la explotación del regadío.

INTERÉS DE GESTAR EN LA TECNOLOGÍA DEL REGADÍO

Aunque no todos los futuros regadíos, ni la rehabilitación de los existentes, requieren necesariamente redes de distribución a presión, una parte significativa de ellos y muchos de los recientemente implantados o en fase de construcción trabajan ventajosamente con conducciones en media o baja presión, lo que justifica el interés de disponer de instrumentos de cálculo productivos en este área.

Los sistemas de distribución de agua a presión para riego y para abastecimiento comparten multitud de características a la vez que presentan particularidades notables que los diferencian. Los aspectos más relevantes de las redes encontradas en los regadíos, serían:

- ◆ **Topología predominantemente, aunque no en exclusiva, ramificada.**
- ◆ **Baja densidad de la red y alta intensidad de la demanda.**
- ◆ **Estructura de la demanda discontinua y controlada.**
- ◆ **Presencia de condiciones de contorno combinadas en que coexisten varios puntos de altura piezométrica impuesta y demandas dependientes e independientes de la presión.**

Estas características se revisan y comparan sistemáticamente en el *Anexo I* (pág. 239).

Una red se denomina estrictamente ramificada si posee una topología ramificada en la que existe exclusivamente un único punto de altura piezométrica impuesta, que habitualmente corresponderá al punto de alimentación, mientras el resto de nodos de la red se asimilan a puntos de consumo conocido, esto es, nodos de bifurcación, con consumo nulo, o hidrantes regulados con caudal igual a la dotación. Es bien sabido^{9,10} que las redes en que la topología y las condiciones de contorno se implementan configurando una red estrictamente ramificada, es posible determinar “a priori” los caudales de línea, desacoplados de las ecuaciones hidráulicas, lo que posibilita, por un lado, establecer las metodologías de dimensionado óptimo económico de los diámetros y materiales de la red, y por otro lado, calcular posteriormente y de forma explícita las presiones en cada punto del sistema, una vez que los diámetros han sido fijados, para cada configuración de demanda instantánea que se formule.

No obstante, el alcance de esta metodología de análisis hidráulico, únicamente aplicable a las redes estrictamente ramificadas, es muy limitado, siendo cada vez más necesario disponer de métodos generales y flexibles que permitan dar solución a las configuraciones que se dan en la práctica.

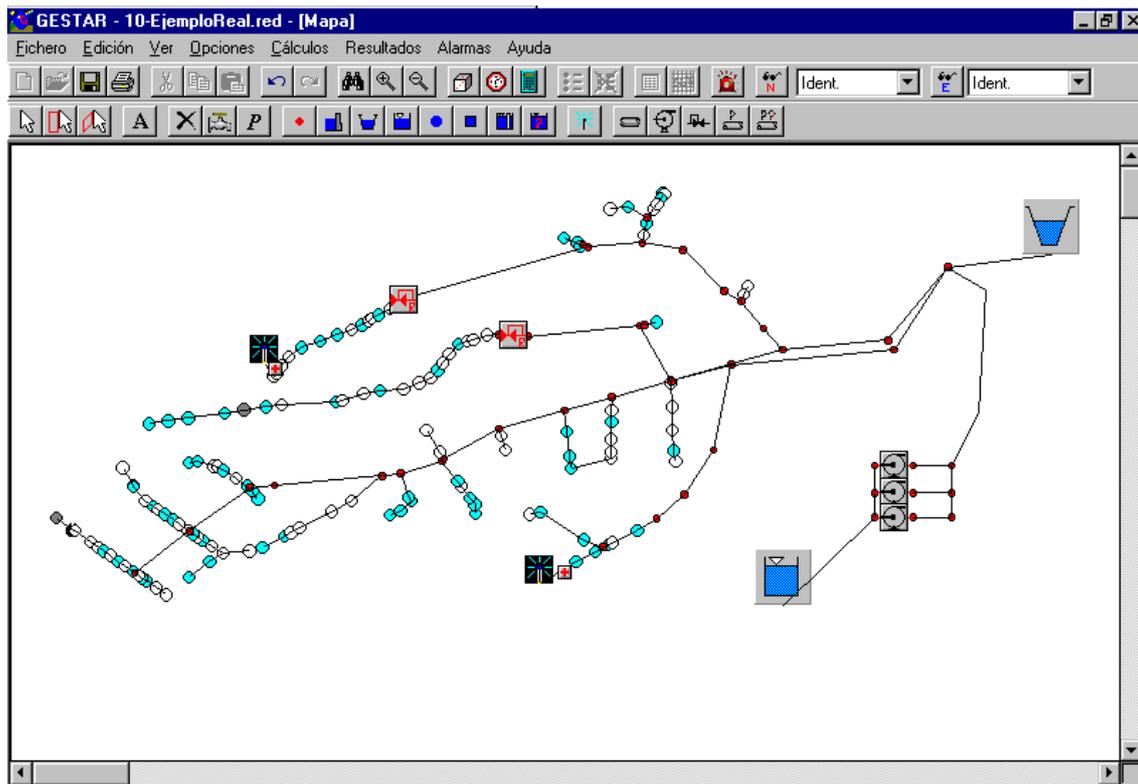


FIGURA 2. 1 Ejemplo de red de riego.

En la FIGURA 2. 1 se muestra el esquema de una red típica de riego a la demanda, que ilustra algunos de los aspectos arriba señalados. Aunque la estructura es esencialmente ramificada se observan dos conducciones redundantes en la cabecera, comunicadas asimétricamente, y una interconexión entre dos ramales efectuada para corregir un problema de insuficiencia de presiones, que configuran sendas mallas. Existen además dos balsas, que eventualmente pueden alimentar simultáneamente a la red, y un par de puntos de descarga directa a la atmósfera, que vierten agua dos acequias, a través de una válvula de mariposa parcialmente abierta: en consecuencia se encuentran cuatro puntos de altura piezométrica impuesta (las dos balsas más las dos emisiones). Por otro lado, se muestra la presencia de dispositivos de regulación automática, como las válvulas reductoras de presión, sostenedoras de presión y limitadoras de caudal mostradas, cada vez más frecuentes en todo tipo de redes.

Las características anteriores obligan a abandonar el paradigma de red estrictamente ramificada (ver *Anexo I*, pág. 239), al que se suele asimilar las redes de riego para simplificar su tratamiento, adoptando técnicas generales de análisis de redes a la hora de proceder a reproducir el comportamiento real del sistema.

Finalmente, la resolución de problemas de índole práctica tales como la simulación y localización de fugas, la detección y diagnóstico de disfunciones en la red, la predicción de caudales efectivamente suministrados en hidrantes carentes de reguladores de presión activos, la determinación de las curvas de consigna en estaciones de bombeo directo,... y otros muchos más, que hasta el momento no han sido tratados de manera sistemática ni satisfactoria, requiere la introducción de aproximaciones

hidráulicas más completas como son los métodos generales de simulación y análisis directo e inverso de redes (ver apartado 2.6, pág.32).

Estas técnicas, originariamente aplicadas a los sistemas de abastecimiento, se han demostrado asimismo idóneas y aún más precisas y fiables⁸, si cabe, en las redes para regadíos, ya que:

- ◆ Se conocen con certeza los trazados y detalles constructivos, dado que son infraestructuras generalmente más recientes y mejor documentadas.
- ◆ No es preciso simplificar o sintetizar la red de conducciones y tomas de consumo, que, aún siendo extensa, puede ser cargada íntegramente en el modelo.
- ◆ Se introduce un bajo nivel de incertidumbre en la previsión de los consumos en los puntos de demanda, gracias a la presencia de dispositivos reguladores y de medida en los hidrantes, siendo factible el conocer determinísticamente el estado de consumo de las tomas, en virtud de protocolos de notificación de riegos transmitidos a los gestores de la explotación o por medio de procedimientos automáticos basados en sensores de caudal instalados en los hidrantes.

Los anteriores condicionantes pueden ser aprovechados ventajosamente en los regadíos a presión ya que facilitan la aplicación de las técnicas de simulación y justifican su fecundidad, permitiendo niveles elevados de exactitud en las predicciones con un bajo esfuerzo de modelización respecto a otros contextos: al existir poca incertidumbre en los datos de entrada, y al ser estos limitados en número, la precisión de los resultados será, previsiblemente, elevada.

Si bien cabría formular la posibilidad de aprovechar para la simulación hidráulica de los sistemas de riego las herramientas informáticas previamente disponibles para el análisis de los sistemas de abastecimiento, es un hecho que ninguno de los paquetes de cálculo disponibles hasta la fecha se adaptaba a la idiosincrasia de las redes de riego.

Esta insuficiencia de los programas pensados para sistemas de abastecimiento, a la hora de transplantar su aplicación a los regadíos, no sólo afecta a la inexistencia de las utilidades gráficas y operativas de configuración de escenarios y condiciones de demanda propias de las redes de riego, sino, lo que resulta más comprometido, a los algoritmos de cálculo previamente disponibles, que constituyen el corazón de los sistemas de simulación, y que no contemplaban diversas particularidades de las redes de riego.

Ha sido preciso acometer en el desarrollo de *GESTAR* investigaciones originales e introducir numerosas innovaciones para resolver las incompatibilidades e insuficiencias que los procedimientos de cálculo recogidos en la literatura manifestaban en su aplicación a las redes de carácter ramificado, lo cual hace más delicada su simulación computacional.

Algunos de los aspectos que se han tratado con especial atención en *GESTAR*, han sido:

- ◆ Presencia de tramos sin caudal circulante, a partir del último hidrante abierto en un ramal, incluso ausencia de caudal en todos los tramos de la red cuando no existe ninguna demanda.
- ◆ Existencia de descargas a la atmósfera a través de emisores con caudal dependiente de la presión.
- ◆ Modelización del comportamiento de los hidrantes, no exclusivamente como puntos de demanda impuesta, sino incluyendo la simulación de sus dispositivos de regulación y el comportamiento hidráulico de la parcela que alimentan.
- ◆ Detección de nodos desconectados en ramales por acción de cierre de válvulas en las conducciones que los alimentan.
- ◆ Actuación de válvulas limitadoras de caudal y sostenedoras de presión insertadas en redes ramificadas.

2.2 APLICACIONES DE *GESTAR*

El paquete *GESTAR* encuentra abundantes aplicaciones tanto en la fase de **diseño** como en la posterior **gestión** de las **redes colectivas** y de las **redes de aplicación del agua en la parcela**.

El uso de este tipo de herramientas se va extendiendo dentro de los organismos encargados del proyecto y explotación de redes, ya que ofrecen la posibilidad de evaluar y anticipar, de una forma no muy costosa, la respuesta del sistema frente a una gran variedad de situaciones prácticas. Una revisión de los posibles campos de aplicación se resume en los siguientes párrafos.

APLICACIONES EN EL DISEÑO DE REDES

El proyecto de una red colectiva de riego a la demanda comienza con el diseño agronómico que determinará las necesidades hídricas y caudal ficticio continuo en las parcelas, para después proceder al diseño hidráulico, que a su vez comprendería dos etapas: 1) El dimensionado; que se ocuparía de la ubicación, y determinación de las dotaciones de las tomas así como del trazado y elección de conducciones. 2) El análisis y verificación de la red trabajando en conjunto con sus elementos de regulación y control, una vez dimensionada, para una serie de condiciones de operación tanto rutinarias como excepcionales, análisis en el que pueden introducirse (o del que pueden concluirse) modificaciones de importancia respecto al diseño inicial. Mientras que los aspectos relativos al dimensionado son frecuentemente tratados en la literatura, el análisis de redes, de sumo interés tanto en las etapas de diseño como en la posterior

explotación del sistema, ha recibido hasta el momento, una menor atención, quizá por la carencia de herramientas de cálculo específicas y fiables como *GESTAR*.

Una vez especificada la topología de la red y dimensionadas las líneas, es necesario proceder a una fase de estudio y verificación detallada del comportamiento de la red mediante el análisis y simulación de la red, consistente en la predicción de las presiones y velocidades en cada punto del sistema, para cada configuración de demanda instantánea de interés, evaluando los efectos de posibles modificaciones e incluyendo los dispositivos de regulación y protección, cuyo tarado y dimensionado puede efectuarse precisamente durante el proceso. El estudio deberá abarcar tanto condiciones de trabajo habituales como estados límites y simulación de disfunciones.

La posibilidad de ensayar, antes de que la red este construida, el comportamiento real de la red ante cualquier tipo de estado de demanda y la posibilidad de modificar ágilmente los detalles constructivos, recibiendo de forma interactiva la respuesta del sistema a dichos cambios, constituye un poderoso instrumento de ingeniería que incrementa la productividad del proyectista y la fiabilidad del diseño.

El análisis de la red aún no operativa se extenderá más allá de la pura fase de diseño en la oficina técnica, siendo imprescindible durante la ejecución de las obras, ya que las diversas y complejas vicisitudes que atraviesa un proyecto de transformación en regadío a presión, desde las primeras evaluaciones hasta la entrega de las instalaciones, implican abundantes y constantes cambios sobre el proyecto inicial, muchas de las cuales se improvisan durante la propia ejecución, cuyo efecto conviene estudiar en previsión de disfunciones o efectos inducidos que hayan podido pasar desapercibidos al proyectista o al constructor.

Sin pretender realizar una enumeración exhaustiva, se indican algunos ejemplos de aplicación de *GESTAR* en la etapa de diseño y construcción de la red:

ESTUDIO DE VARIANTES EN EL TRAZADO Y DIMENSIONADO BÁSICO

- ◆ Influencia de trazados alternativos
- ◆ Influencia de diámetros y materiales.
- ◆ Introducción de nuevos ramales.
- ◆ Estudio de localización de depósitos.
- ◆ Estudio de múltiples puntos de alimentación de la red.
- ◆ Influencia de niveles en los depósitos en el comportamiento de la red.
- ◆ Cálculo del volumen de los depósitos.
- ◆ Dimensionado de grupos de presión.
- ◆ Introducción de nuevas conexiones o conducciones.

ANÁLISIS RELATIVOS A LOS PUNTOS DE DEMANDA

- ◆ Especificación de las dotaciones en función de los parámetros agronómicos.
- ◆ Estudio de la influencia del grado de libertad en las tomas.
- ◆ Distribución de presiones y caudales en la red dada bajo distintas dotaciones en los hidrantes.
- ◆ Valores máximos extraíbles por cada usuario particular.
- ◆ Determinación de caudales reales extraídos en emisores.
- ◆ Efecto del reagrupamiento, incorporación o supresión de hidrantes.
- ◆ Introducción de nuevos consumos.
- ◆ Variación de los cultivos predominantes.

ESTUDIO DE LA RESPUESTA DE LA RED A LOS DISTINTOS NIVELES DE LA DEMANDA

- ◆ Distribución de presiones y caudales en una red dada con conectividad y número de nodos y elementos arbitrarios bajo distintas hipótesis de demanda instantánea.
- ◆ Determinación de las máximas simultaneidades de demanda que pueden ser atendidas por el conjunto de la red.
- ◆ Determinación de las máximas simultaneidades de demanda que pueden ser atendidas por cada ramal.
- ◆ Comportamiento ante consumos punta/mínimo.
- ◆ Localización de las zonas más favorables y desfavorables.
- ◆ Detección de presiones máximas y mínimas.
- ◆ Localización de “cuellos de botella” y elementos que restringen la capacidad de conducción.

ESPECIFICACIÓN DE CONSIGNAS

- ◆ Tarado de válvulas de alivio y anti-inundaciones.
- ◆ Valores de consigna en reguladores de presión y caudal.
- ◆ Generación de consignas para las estaciones de bombeo.

- ◆ Determinación de curvas de consigna de los grupos de bombeo.
- ◆ Predicción de coeficientes de apertura de las válvulas de regulación.

VALORACIÓN DE LOS EFECTOS DEL DETERIORO DE LA RED

- ◆ Análisis de la influencia del envejecimiento y/o obturación de los conductos.
- ◆ Previsión de los efectos hidráulicos causados por deficiencia en la ejecución de las instalaciones.
- ◆ Análisis de la influencia de la degradación de las bombas.
- ◆ Previsión de efectos de fugas, fisuras y consumos imprevistos.
- ◆ Previsión de los efectos de roturas y eventos extremos.

APLICACIONES EN LA GESTIÓN DE REDES

Los beneficios de la simulación hidráulica se encuentran también íntimamente ligados a la gestión del sistema una vez operativo. Las aplicaciones de *GESTAR* en la explotación de redes pueden resumirse en los siguientes epígrafes que a continuación serán desglosados:

- ◆ Planificación de operaciones
- ◆ Actualización de las consignas de regulación y control.
- ◆ Detección e identificación de disfunciones
- ◆ Supervisión y telecontrol
- ◆ Sistemas de apoyo a la decisión
- ◆ Entrenamiento de operadores.
- ◆ Sensor exhaustivo
- ◆ Definición de modificaciones
- ◆ Ahorro en el dimensionado de conducciones

PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES.

Si se dispone de la programación horaria/diaria de uso de los hidrantes se puede anticipar la respuesta de la red en cuanto a presiones, caudales circulantes, velocidades, evolución de nivel en los depósitos, arranques y paradas de bomba, etc., lo que permite verificar el correcto funcionamiento del sistema o la detección de problemas: niveles de

presión insuficientes, velocidades excesivas, vaciado de embalses, operación de bombas fuera de su régimen óptimo, conexión de bombas en periodos inadecuados... Una vez descubiertas las disfunciones, si las hubiere, se procederá a formular acciones correctoras (modificación de tiempos de apertura de hidrantes, acciones sobre los reguladores o grupos de bombeo, etc.).

Bien sea como fruto de la necesidad de formular acciones correctoras, de optimizar el funcionamiento de la red o de explorar posibles estrategias de gestión alternativas, *GESTAR* permite reproducir escenarios posibles donde se analiza el “¿qué pasaría si...?” una u otra acción fueran implementadas. De la colección de resultados encontrados de esta manera pueden concluirse estrategias óptimas para atender las necesidades del sistemas y las restricciones operativas.

Finalmente, mediante las técnicas de análisis inverso que aporta *GESTAR*, es posible encontrar respuesta directa, evitando tanteos, a preguntas del tipo “¿cómo se conseguiría...?” que frecuentemente aparecen en la gestión de redes cuando se tratara de encontrar una combinación de los elementos de regulación que permitan satisfacer requisitos simultáneos de presión y caudal suministrados en hidrantes, depósitos, estaciones de impulsión,...

ACTUALIZACIÓN DE LAS CONSIGNAS DE REGULACIÓN Y CONTROL

Los diversos dispositivos susceptibles de regular el sistema mediante consignas de operación (reductores de presión, limitadores de caudal, válvulas anti-inundación, grupos de bombeo, autómatas programables...) requieren la fijación de dichas consignas en los valores más aconsejables, que además pueden ser distintos según la época o evolución de la red. Si el gestor del sistema dispone de un sistema de simulación fácilmente podrá estudiar una sucesión extensa de escenarios simulados, encontrando la combinación que mejor se adapte, incluso con valores dinámicos, sin tener que recurrir a un dilatado, conflictivo y antieconómico período de pruebas y tentativas sobre el sistema real.

DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE DISFUNCIONES

En la operación rutinaria de una red de distribución van a surgir un amplio conjunto de averías o condiciones de operación irregulares, que es preciso detectar cuanto antes. Entre las más frecuentes se encontrarían obstrucciones por objetos, ejecuciones deficientes, fugas, manipulación de hidrantes, consumos no autorizados, deficiente funcionamiento de grupos de impulsión, consignas mal implementadas, etc. En la medida en que exista alguna instrumentación, fija o provisional, que permita extraer valores medidos que puedan ser comparados con sus equivalentes calculados, la discordancia entre lo medido y lo calculado, por encima de una cierta tolerancia, será síntoma de la existencia de algún problema operativo. Mientras que los sistemas de alarma mediante dispositivos físicos sólo detectan la superación de los umbrales máximos y/o mínimos admisibles, habitualmente fijados para prevenir situaciones extremas, con el concurso de las herramientas de simulación pueden detectarse problemas de muy diversa índole que pasarían desapercibidos para los sistema de alarma. Así, por ejemplo, una medición de presión al comienzo de un ramal puede

encontrarse por encima del mínimo admisible, y, a la vez, ser significativamente inferior a la que el programa de simulación predice para el estado de tomas abiertas que se supone existe. Esta discrepancia, que no sería advertida por el umbral de alarma, podría indicar una obturación en los tramos aguas arriba del punto de medida, la existencia de alguna fuga, la apertura no registrada de algún hidrante o un consumo excesivo de algún regante.

Una vez detectada la disfunción, su diagnóstico y localización puede asimismo acometerse con el auxilio de *GESTAR*. En función de la información de que se disponga: presiones y/o caudales medidos en diversos ramales y en los hidrantes, es factible encontrar indicios de las posibles causas del problema y aislar su área de influencia. Seguidamente se reforzarán o descartarán las hipótesis del origen del problema según que los resultados de las simulaciones respectivas se correspondan o no a los datos de campo. Las técnicas de análisis inverso se encuentran especialmente indicadas para estos cometidos (ver apartado 2.6 pág.32).

SUPERVISIÓN Y TELECONTROL

Si la supervisión y control de la red se realiza, en todo o en parte, mediante sistemas automáticos para la operación de los dispositivos y la detección de disfunciones, las anteriores aplicaciones de los sistemas de simulación pueden potenciarse enormemente.

Los sistemas de telecontrol ejecutan instrucciones de apertura/cierre de hidrantes, arranque parada de bombas, regulación de controladores, disparo de alarmas, etc., de forma prefijada mediante señales de control horarias o condicionadas a la evolución de los parámetros supervisados. Actualmente la rígida lógica cableada ha dejado paso a los autómatas programables (*PLC*). que aportan una mayor flexibilidad en la configuración de las consignas y estrategias, ya que pueden ser reconfiguradas fácilmente.

No obstante, las enormes capacidades de los de sistemas de monitorización y telemando quedan infrutilizadas si no se implementan integrados con los sistemas de simulación.

Así, por ejemplo, la descripción y memorización en el autómata de todas las combinaciones estados de presión/demanda que pueden considerarse problemáticos, y cuya ocurrencia debe suponer la activación de una alarma, es impracticable, recurriéndose en su defecto a alarmas convencionales de valores extremos. Por otro lado, las órdenes de apertura de hidrantes, programadas según las demandas recibidas de antemano, pueden dar lugar a problemas de presión en la red, que el controlador detecta una vez producidas, pero no es capaz de anticipar y evadir.

Si se utiliza un sistema de simulación trabajando integradamente con el sistema de control, todas estas limitaciones se disuelven y las capacidades del *SCADA* se potencian considerablemente.

La implementación del nivel mínimo de integración es sumamente sencilla, a la par que fecunda y eficaz, para ello el autómata deberá suministrar, de forma manual o en tiempo real, al paquete de simulación hidráulica el estado de apertura y cierre de

hidrantes y otros estados significativos de las conducciones de contorno. El programa de simulación devolverá al *PLC* los resultados del programa de simulación, en forma de parámetros de control sintéticos o de forma completa, de cuyo análisis este podrá inferir inmediatamente actuaciones. Por ejemplo: si se encuentran discrepancias apreciables entre los valores medidos y calculados se deberá activar algún tipo de alarma. Otro caso: si antes de proceder a la apertura de un hidrante se ejecuta la predicción del estado correspondiente, y como consecuencia se detecta alguna disfunción, se inhibirá la apertura.

El tipo de supervisión que se ha citado sólo contempla el estado actual del sistema, sin tener en cuenta la evolución futura del sistema, que podría condicionar las actuaciones presentes.

En un segundo escalón de integración, la comunicación con el programa de simulación permitiría cualificar o modificar las consignas de regulación y control de la programación del autómatas en función de los efectos diferidos previstos por *GESTAR* en la evolución temporal del sistema. Por ejemplo, si se tiene almacenada la programación de riegos para las siguientes horas o días, *GESTAR* realizará la predicción del comportamiento de la red para el correspondiente periodo de tiempo, pudiendo anticipar la ocurrencia de escenarios problemáticos. Así, un descenso de nivel en una balsa alimentada por bombeo que debería suponer el arranque de un grupo de impulsión en una hora punta, puede demorarse o ejecutarse de inmediato en función de la previsión de la demanda y de la evolución del nivel de los depósitos, que asimismo pueden afectar a los niveles de presión en la red.

Toda la implementación de las anteriores funciones en un *PLC*, o en módulos adicionales de análisis de *GESTAR*, no requieren de una programación compleja ni de una lógica sofisticada. una vez a que la comunicación de datos e interrupciones entre el programa de control y el programa de simulación se establece.

SISTEMAS DE APOYO A LA DECISIÓN

Los ejemplos citados sólo tienen un carácter de prevención automatizada de disfunciones en las actuaciones programadas para un instante determinado o en un periodo de tiempo. Sin embargo, es posible establecer un tercer nivel de integración, denominado *Sistema de Apoyo a la Decisión (Decision Support System, DDS)* ciertamente más complejo, que requiere una programación independiente de algoritmos de toma de decisión y, en último extremo, el concurso combinado de tecnologías emergentes de inteligencia artificial. sistemas expertos, lógica difusa, bases de conocimientos, redes neuronales, algoritmos genéticos.

Los objetivos del *Sistema de Ayuda a la Decisión* no sólo se cifrarían en formular automáticamente acciones correctoras de las disfunciones previstas sino en optimizar dinámicamente el funcionamiento del sistema teniendo en cuenta múltiples factores: históricos de la demanda, necesidades de cultivos, costes energéticos, calidad del suministro, disponibilidad de agua. En este sistema el programa de simulación sería un módulo esencial, a conjugar con otras diversas técnicas de inferencia de conocimiento, que finalmente suministrará al técnico operador una o varias opciones priorizadas de intervención, junto con los criterios de decisión contemplados y resultados previstos, para que éste tome finalmente la decisión más aconsejable.

ENTRENAMIENTO DE OPERADORES

La familiarización de los operadores con el funcionamiento de la red, y el ensayo de las estrategias correcta o desafortunadas ante escenarios rutinarios o extremos pueden abordarse sin costes ni riesgos y en un periodo muy breve.

SENSOR COMPLETO

Una vez que el modelo hidráulico de la red ha sido calibrado y las predicciones y medidas se ajustan correctamente, la simulación hidráulica genera de forma fiable la información completa en cada ejecución y la descripción completa de todas las variables hidráulicas de la red. En la medida en que exista buen ajuste entre los valores calculados por *GESTAR* y los que se están midiendo en tiempo real en un número suficiente de puntos de monitorización permanente, puede suponerse que en el resto de puntos y elementos de la red el buen ajuste se mantendrá. En consecuencia puede conocerse a través de *GESTAR* el valor de cualquier parámetro en la red sin necesidad de instalar sensores exhaustivamente.

DEFINICIÓN DE MODIFICACIONES

Durante la vida operativa de una red es preciso acometer constantemente reformas, mantenimientos y todo tipo de ajustes de mayor o menor entidad tales como: renovación o sustitución de depósitos o cambio de sus cotas, sustitución de grupos de bombas de presión, en número, tipo o revoluciones, renovación y sustitución de conductos, adicción o supresión de hidrantes, desplazamiento de los mismos, cambios de dotaciones, incorporación de nuevas zonas regables,...El dimensionado de nuevos elementos y el estudio de impacto de todos los factores que alteren el diseño original pueden ser evaluados fácilmente gracias a la ayuda de *GESTAR*.

AHORRO EN EL DIMENSIONADO DE CONDUCCIONES.

Habitualmente el dimensionado de las redes de riego a presión se realiza para funcionar, con un alto grado de probabilidad (entre el 95 y el 90% de ocasiones), a la demanda incluso en las condiciones más exigentes de caudales. No obstante, las demandas más altas sólo se van a presentar en un número limitado de días al año, por lo que el asegurar un funcionamiento puro a la demanda en tales momentos obliga a efectuar dimensionados generosos, y en consecuencia costosos, de unas conducciones que estarán infrautilizadas la mayor parte del tiempo.

Si se desea, cabe reducir la inversión en las conducciones, dimensionando la red para que funcione a la demanda pero con caudales inferiores a los consumos más extremos, a la vez que se asegura que, mediante un sistema de planificación y organización de la demanda en los periodos punta (mediante turnos rígidos o flexibles), se pueden acomodar las mayores exigencias de caudales para riego. Un sistema suficientemente ensayado, flexible y eficaz para encajar, con comodidad para el regante, los periodos más críticos puede ser el riego a la demanda con autorización previa. En este protocolo la aplicación de dosis de agua se solicita anticipadamente al órgano

gestor de la red, que analizará si dichas solicitudes son compatibles con el correcto funcionamiento de la red antes de autorizar el riego, de lo contrario se buscaría una solución alternativa. Este tipo de actuación obligatoriamente conlleva la existencia de una herramienta ágil e interactiva como *GESTAR* para estudiar la demanda diaria y establecer o modificar los turnos si fuera preciso. Deberá establecerse en la fase de diseño una cuidadosa valoración de la contrapartida económica que supone esta menor libertad de riego en los periodos puntas.

2.3 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE *GESTAR*

ESTRUCTURA GENERAL DE *GESTAR*

GESTAR consta de dos módulos básicos independientes, pero íntimamente entrelazados, *GESTAR.EXE* y *NETCAL.DLL*, que abordan tareas distintas y complementarias.

GESTAR.EXE, programado en *VISUAL BASIC*, un lenguaje muy difundido en el desarrollo rápido de aplicaciones para *S.O. WINDOWS*, es el “interface” de tipo visual que soporta las tareas de comunicación con el usuario, gestiona la captura de datos y la presentación de resultados, suministra toda la serie de herramientas de configuración de escenarios y recursos operativos, genera las representaciones gráficas y controla el flujo general de la aplicación. La carga de redes, especificación de condiciones de contorno, modificación de parámetros, presentación y análisis de resultados se realiza en dicho entorno gráfico completamente interactivo. Todas las operaciones y manejo de opciones se efectúan mediante iconos, barras de herramientas, ventanas de diálogo y menús desplegados, haciendo sumamente cómoda e intuitiva la explotación de sus capacidades. Su manejo no requiere de un estudio preliminar enjundioso, permitiendo a todo tipo de usuarios, desde proyectistas hasta regantes, familiarizarse en poco tiempo con las herramientas que se necesita aprovechar para cada propósito.

NETCAL.DLL, programado en *FORTRAN 90*, un lenguaje específico de los procesos de cálculo intensivo, es el núcleo de simulación hidráulica de *GESTAR* que implementa las técnicas numéricas matriciales para el análisis de redes presurizadas en régimen estacionario.

Estas técnicas se basan ^{1,13} en la transformación del sistema completo de ecuaciones no lineales que caracteriza cada nudo y cada elemento de la red, junto a las condiciones de contorno, en un sistema de ecuaciones que admite una formulación matricial pseudolineal, puesto que los coeficientes de la matriz dependen a su vez de las variables incógnita cuya solución se busca. Para resolver esta indeterminación se recurre a procesos iterativos, optimizados para acelerar la tasa de convergencia a la solución. Ahora bien, la resolución efectiva del procedimiento general encierra todo un conjunto de problemas matemáticos y computacionales nada triviales, cuya consideración no puede obviarse si se desea que la técnica funcione de manera robusta, eficiente y flexible. Éstos desafíos han podido ser vencidos satisfactoriamente en virtud de la incorporación al paquete de simulación de sofisticadas técnicas de cálculo, constantemente mejoradas e innovadas por el grupo de investigación.

En el entorno *WINDOWS 9X* y *NT NETCAL.DLL* es compilado actualmente como una librería *DLL* que se invoca directamente desde el módulo gráfico *GESTAR.EXE*, comportándose como una subrutina, que recibe las variables y parámetros almacenados en memoria *RAM* y que, asimismo, devuelve los resultados a dicha memoria.

Las características más relevantes operativas en la actual versión de *GESTAR 1.2* se reseñan a continuación. **ATENCIÓN: Las características señaladas con un asterisco en el texto (*) todavía no se encuentran operativas o suficientemente depuradas.**

MÓDULO DE CÁLCULO NETCAL.DLL

El núcleo de cálculo de *GESTAR* no se deriva de la adopción de otros paquetes numéricos preexistentes. *NETCAL.DLL* es fruto de un sostenido trabajo de investigación original, que aporta conceptos y soluciones innovadoras específicamente orientadas al área tecnológica a la que va dirigido. Por sus prestaciones se sitúa en la vanguardia de los modelos de simulación de su género.

El motor de cálculo de *GESTAR* se caracteriza por ser robusto, flexible y general, habiéndose optimizado sistemáticamente, admite cualquier número de nodos y posee recursos para realizar diseños inversos y simulaciones con evolución temporal. Permite el tratamiento de diversas formulaciones de pérdidas de carga así como pérdidas singulares de todo tipo, incluyendo una rutina para el cálculo automático de pérdidas en bifurcaciones. Junto con los tipos de nodos y conducciones habituales, se incorpora el tratamiento de bombas, válvulas de regulación, dispositivos antirretorno, etc. Los dispositivos emisores, con caudal proyectado dependiente de la presión reciben asimismo una especial atención.

Se aportan soluciones originales para el tratamiento de dispositivos y configuraciones específicas de las redes de riego, como por ejemplo hidrantes alimentados con presiones insuficientes, detección de zonas aisladas, modelización de válvulas limitadoras de caudal y sostenedoras de presión en redes ramificadas.

ENTORNO GRÁFICO: GESTAR.EXE

La carga de redes, modificación de parámetros, manejo de opciones, presentación y análisis de resultados en *GESTAR* se realiza a través de iconos, barras de herramientas, ventanas de diálogo y menús desplegados, siendo fácil e intuitiva la explotación de todos sus recursos.

Se dispone actualmente de un abanico de utilidades y opciones para el manejo de objetos gráficos y visualización de datos, suficiente como para realizar las operaciones más frecuentes. *GESTAR* comparte la filosofía que inspira las tendencias del “software” de la última generación, orientada a simplificar el uso de las aplicaciones a la par que éstas se hacen más complejas y potentes, facilitando al usuario el familiarizarse con ellas rápidamente sin la necesidad de un estudio preliminar exhaustivo. Para ello se da relevancia a los aspectos de comunicación gráfica con el usuario, manejo autoexplicativo, consistencia de los algoritmos de cálculo frente a situaciones extremas,

resolución integrada de las tareas auxiliares mediante utilidades, verificación de la coherencia de los datos de entrada, comprobación automática de la compatibilidad de condiciones de contorno, ayudas y valores por defecto configurables por el usuario, gestión de errores, etc.

La generación de la topología y datos constructivos de la red puede realizarse mediante cuatro procedimientos: desde la propia aplicación, importando las coordenadas de los nodos desde fichero *ASCII*, importando desde *AUTOCAD 2000*, *AUTOCAD 2000i*, *AUTOCAD MAP 2000* el trazado de la red (a través de *GestarCAD*), y, finalmente, importando la estructura completa desde una base de datos *ACCESS*.

La carga de datos, dimensionales e hidráulicos, se facilita mediante la comunicación interactiva con bases de datos de tuberías, pérdidas singulares y emisores.

Los resultados admiten diversos tipos de consulta mediante tablas, visualización numérica sobre la red, código de colores, series numéricas temporales, gráficos de evolución temporal, ventanas desplegadas y exportación a base de datos.

La generación de escenarios puede ser de tipo aleatorio o determinista con diversas opciones adicionales en cada tipo de escenario: sorteos simples, sorteos encadenados, probabilidades homogéneas, probabilidades distintas, escenario determinista estacionario o con evolución temporal.

Se facilitan herramientas para obtener parámetros estadísticos de las variables y establecer alarmas que adviertan y almacenen posibles disfunciones del sistema.

Además de la ya indicada comunicación con *AUTOCAD* y *ACCESS* se han incorporado opciones para la exportación e importación de datos a *DIOPRAM* y de exportación a *EPANET*.

Como se apreciará, son numerosos los recursos disponibles en *GESTAR* poseyendo un conjunto amplio de opciones compaginadas con una comunicación fácil y transparente con el usuario.

No obstante, *GESTAR 1.2*, a pesar de haber sido sometido a pruebas sistemáticas, no se excluye la presencia de errores de código que hayan pasado inadvertidos.

En consecuencia, aunque la gran mayoría de errores que puedan suceder durante la ejecución sea debida a la formulación de condiciones de operación físicamente imposibles, no se descarta que en alguna circunstancia se puedan producir todavía patologías en el cálculo o en la gestión del entorno gráfico. En tal caso, una vez comprobadas cuidadosamente las condiciones de contorno y la compatibilidad de las ecuaciones de entrada, agradeceríamos se notificase (por correo o e-mail) a las direcciones que se indican en las ventanas del inicio de la aplicación las circunstancias del problema, adjuntando una copia del fichero de entrada (y salida, si existe) de la red en cuestión. El caso será analizado gustosamente y se determinará si procede alguna modificación del programa. Una vez resuelto el problema, se enviará al usuario la versión depurada tan pronto como sea posible.

2.4 TÉCNICA DE ANÁLISIS Y MÉTODOS NUMÉRICOS

GESTAR realiza la simulación hidráulica de redes arbitrarias de distribución de fluidos newtonianos en régimen incompresible y condiciones cuasi-estacionarias mediante la formulación de técnicas de *Análisis Nodal*^{1,2,13}.

Ello posibilita resolver sistemáticamente cualquier tipo de redes, ya sean ramificadas, malladas o mixtas, indistintamente. Las variables fundamentales consideradas en esta metodología son la altura piezométrica, H_j y la demanda, C_j , ambas variables asociadas al nodo j , como se representa de forma esquemática en la Figura 2. 2.

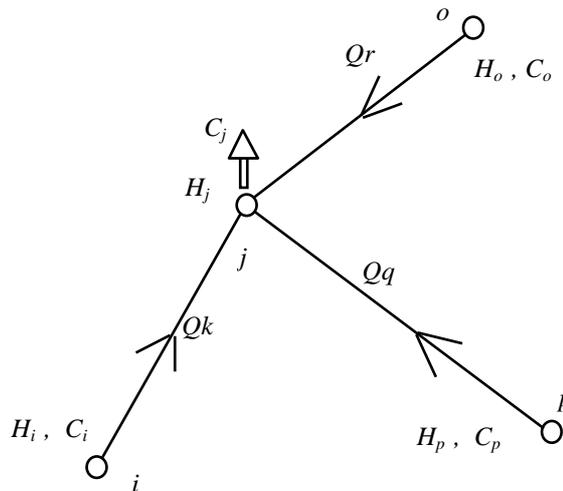


Figura 2. 2 Definición de variables en nodos y elementos.

En el método de *Análisis Nodal* de redes presurizadas se expresa la relación no lineal entre el incremento de alturas piezométricas en el elemento k , de nodo inicial i y final j , $H_i - H_j$, y el caudal que atraviesa el elemento k , Q^k

$$H_i - H_j = f(Q^k) \cdot Q^{k^2} \quad (2.1)$$

a través de una relación pseudo-lineal de la forma:

$$H_i - H_j = KR^k \cdot Q^k \quad (2.2)$$

donde se ha definido:

$$KR^k = f(Q^k) Q^k$$

o bien, despejando el caudal de (2.2)

$$Q^k = KC^k \cdot (H_i - H_j) \quad ; \quad KC^k = \frac{1}{KR^k} \quad (2.3)$$

En las anteriores expresiones KR^k y KC^k son los coeficientes de resistencia y de conducción del elemento k , respectivamente, y son a su vez función del caudal o de la pérdida de carga del elemento.

En cada uno de los nodos se satisface la condición conservación de caudales, dada por una ecuación de continuidad expresada como (ver Figura 2. 2):

$$Q^k + Q^q + Q^r + C_j = 0 \quad (2.4)$$

Si se sustituye en (2.4) cada caudal de línea por su correspondiente ecuación linealizada (2.3) se obtiene una relación pseudolineal entre alturas piezométricas y consumos nodales:

$$KC^k (H_i - H_j) + KC^q (H_p - H_j) + KC^r (H_o - H_j) = - C_j \quad (2.5)$$

Dado que se puede formular una ecuación de tipo (2.5) para cada nodo, si en la red existen NN nodos se obtendrá un sistema de NN ecuaciones. En el sistema aparecerán $2 NN$ variables fundamentales asociadas a los nodos (NN alturas piezométricas, H_j , y NN consumos, C_j). Para que el sistema sea compatible es necesario fijar los valores de NN variables (condiciones de contorno) y calcular mediante el sistema de NN ecuaciones el resto de variables desconocidas (incógnitas). Imponiendo las variables que son dato del problema es posible reordenar el sistema anterior y expresarlo de forma matricial:

$$K(H) \cdot H = C(H) \quad (2.6)$$

donde H es el vector de incógnitas de dimensión NN (no necesariamente alturas piezométricas), C es el vector de términos independientes (no necesariamente consumos) y K es la matriz $NN \times NN$ de conductividad cuyos coeficientes K_{ij} se ensamblan sistemáticamente en función de los coeficientes de conductividad KC de los elementos, de la topología de la red y de las condiciones de contorno.

El sistema de ecuaciones (2.6), obtenido con la formulación del *Análisis Nodal*, es intrínsecamente no lineal puesto que en flujo turbulento los coeficientes de la matriz K y algunos términos del vector C dependen de la solución buscada. Para la solución eficiente de (2.6) es preciso recurrir a procedimientos numéricos iterativos tipo *Newton-Raphson*^{2,13}.

El algoritmo *Newton-Raphson* se ha mejorado², generalizándolo y acelerándolo en el contexto de redes de distribución, mediante un tratamiento analítico específico para el tipo de ecuaciones no lineales (2.1) que caracterizan el comportamiento de los elementos hidráulicos.

Dado que las matrices asociadas al algoritmo de análisis y cálculo son altamente dispersas, se ha recurrido a estructuras de datos especializadas, posibles gracias a la adopción del lenguaje de programación *FORTRAN 90*, para el almacenamiento compactado de sólo los elementos no nulos de las matrices que aparecen en el proceso numérico, lo que redundará en menores requisitos de memoria física en el ordenador y en una mayor velocidad de cálculo.

Asimismo la creación de estructuras de datos configurables en *FORTRAN 90* permiten un dimensionado dinámico de las variables, aspecto en que hasta ahora daba una ventaja al lenguaje *C* frente a los compiladores *FORTRAN*, por lo que puede trabajarse con redes de tamaño cualquiera, sólo limitados por la memoria de que disponga el ordenador.

Se utilizan métodos directos para la inversión de la de la matriz tangente del sistema (2.6) recurriendo a técnicas de factorización *L U* adecuadas para matrices generales dispersas no simétricas⁷.

Los algoritmos para la inversión y multiplicación se encuentran optimizados para el tratamiento de matrices dispersas,⁷ lo que confiere una considerable velocidad en el proceso de cálculo (6 iteraciones habitualmente, tiempo total de cálculo 0.3 segundos para una red típica con 350 hidrantes y nodos de unión, con un procesador *Pentium* 133Mhz, 16Mb de *RAM*).

Se puede inicializar el proceso de cálculo de diversas formas, bien estableciendo un número de *Reynolds* común en todos los elementos o una velocidad del flujo común en los mismos, valores que pueden ser modificados por el usuario.

De manera opcional, los resultados de la simulación de un escenario ya realizado pueden ser utilizados para inicializar el cálculo de un nuevo escenario cuya configuración no se encuentre muy alejada de la precedente. De esta manera, al partir de una distribución de caudales ya equilibrada y próxima a la nueva solución final, la convergencia puede alcanzarse en un reducido número de iteraciones adicionales (generalmente bastarán entre 2 y 3 iteraciones adicionales, acelerándose el tiempo de cálculo neto: recálculo de una red en 0.1 segundos, para una red típica con 350 hidrantes y nodos de unión, con un procesador *Pentium* 133Mhz, 16Mb de *RAM*). La activación de esta opción resulta eficaz en el recálculo automático de escenarios ante cambios individuales de las condiciones que lo definen y en la simulación de evoluciones temporales, siempre y cuando los cambios de condiciones de un instante a otro no sean generalizados.

Se incorpora también la posibilidad de relajar el método iterativo de cálculo para mejorar la estabilidad y convergencia en casos de mal condicionamiento del problema. El programa relaja el proceso en las tres primeras iteraciones automáticamente para evitar inestabilidades indeseables. Cuando se detecta una buena tasa de convergencia el factor de relajación se iguala a la unidad.

El programa incorpora novedosas estrategias^{1,2,4} de identificación y tratamiento de elementos de baja resistencia y de bajo caudal, elementos que empeoran, la estabilidad del método de cálculo, al aparecer coeficientes en las matrices del sistema de orden muy distinto, imposibilitando incluso la convergencia del proceso, como así sucede en diversos paquetes de análisis hidráulico que no contemplan estos extremos. Para ello se han adoptado y mejorado las estrategias de cálculo sugeridas por *Campos*⁴, pero no explotadas aún en la literatura, que desensamblan los componentes conflictivos del sistema general y operan de forma independiente su ecuación de comportamiento garantizando la convergencia y/o acelerándola en situaciones donde la resistencia de algún conducto sea muy diferente a la del resto, o en situaciones donde existan elementos con caudales muy pequeños o nulos, obteniéndose unos muy buenos

resultados. Estas condiciones se dan habitualmente en las redes ramificadas en todos los tramos de un ramal a partir del último hidrante abierto.

En este proceso^{1,4} interviene el parámetro de condicionado, *KCL*, que corresponde al umbral máximo del coeficiente de conducción de los elementos por encima del cual la ecuación del elemento linealizada (2.3) no se sustituye en (2.4) sino que se mantiene en su forma original añadida al sistema (2.6). Por cada elemento de baja resistencia así desensamblado aumenta en una unidad el número de ecuaciones a resolver. A pesar de incrementar la dimensión del sistema esta estrategia tiene la ventaja de ser muy robusta, trabajando con precisión con elementos que posean todo tipo de resistencias, tanto nulas como infinitas. Si se toma un parámetro de condicionado, *KCL*, nulo se obtiene un caso límite que corresponde a la técnica conocida como *Análisis Híbrido*¹³.

La convergencia del sistema se controla mediante dos criterios redundantes de error:

A. Residuo Relativo adimensional de las ecuaciones del sistema: Se calcula el cociente entre el error medio obtenido en el caudal de cada nodo (residuo) para todas las ecuaciones del sistema y el caudal medio circulante por los elementos y se comprueba si es inferior al valor suministrado. Si el caudal medio es nulo, el valor del residuo relativo dado por el programa será cero.

B. Error dinámico: El programa incorpora un segundo criterio de error, llamado dinámico porque se calcula mediante la diferencia del valor de las variables entre dos iteraciones sucesivas. Se dispone de la alternativa de establecer dos tipos de error dinámico:

- ◆ Error relativo en caudal: Es el cociente entre la suma de diferencias absolutas de caudal en los elementos entre dos iteraciones consecutivas y el sumatorio de caudales absolutos en éstos. Se comprueba en cada iteración su valor respecto al suministrado por el usuario.
- ◆ Error máximo de altura (m): Máxima diferencia de altura nodal en metros, existente entre dos iteraciones consecutivas. Se comprueba en cada iteración su valor respecto al suministrado por el usuario.

Se considerará alcanzada la convergencia cuando simultáneamente el Residuo Relativo y el Error Dinámico se encuentren por debajo de los umbrales establecidos por defecto o por el usuario. Estos dos tipos de criterios redundantes, A y B, garantizan estrictamente la convergencia real y fiabilidad de la solución encontrada.

2.5 MODELIZACIÓN DE COMPONENTES

El paquete de simulación en el módulo de cálculo *NETCAL.DLL* incorpora modelos para reproducir el comportamiento estático de los tipos de elementos hidráulicos más usuales en las redes a presión: conducciones, sistemas de impulsión, válvulas reductoras y sostenedoras de presión, limitadores de caudal, válvulas

antirretorno y válvulas de seccionamiento, así como el de una amplia gama de tipos de nodos: unión, consumo conocido, emisor, altura piezométrica conocida, embalse de nivel fijo, balsa de nivel variable e hidrante regulador de presión y limitador de caudal.

2.5.1 TIPOS DE NODOS RECONOCIDOS

- ◆ **Nodos donde la altura piezométrica es conocida: Embalse, Nodo de presión regulada, Balsa**
- ◆ **Nodos donde el consumo es conocido e independiente de la presión local: nodo de unión, nodo de consumo conocido.**
- ◆ **Nodos híbridos: Hidrantes Reguladores y Emisores.**

NODOS DONDE LA ALTURA PIEZOMÉTRICA ES CONOCIDA: EMBALSE, NODO DE PRESIÓN REGULADA, BALSA

La cota y presión son datos conocidos en tal tipo de nodos, aunque desde el punto de vista computacional todos ellos son indistinguibles en cada etapa del cálculo, al usuario se le facilitarán ventanas de definición diferenciadas. Las presiones se toman relativas a la atmósfera.

EMBALSE

Se asume que el punto de altura piezométrica conocida es la lámina libre, donde la presión relativa es nula, la cota de dicha lámina se supone constante. Balsas, depósitos, canales,...donde se garantice un nivel constante de la lámina libre en toda la simulación pueden identificarse también con este tipo de nodo.

NODO DE PRESIÓN REGULADA

Se especifica la cota de un punto y la presión existente en dicho punto, supuesta constante en toda la simulación. Los puntos en los que la presión se encuentre regulada por algún dispositivo y que abastecen una cierta red (reguladores de presión en cabecera) son los primeros candidatos a esta formulación. Además, las balsas, depósitos y canales en los que la altura de la lámina libre, tomada como constante, en cada simulación, pueda evolucionar a más largo plazo, también pueden ser implementados alternativamente mediante este tipo de nodo, especificando la cota de la solera y dando como presión la altura de la lámina libre respecto a dicha solera.

BALSA

La balsa es un tipo de nodo que tiene su pleno sentido en la simulación temporal de escenarios. En una balsa el usuario especifica, en principio, la cota de la solera y

presión correspondiente a la altura de la lámina libre respecto a la solera en el instante de comienzo de la simulación. Deberá asimismo especificar la geometría de la misma y los niveles máximos y mínimos admisibles de la lámina libre. En cada paso temporal de la simulación numérica, el programa de cálculo determina el caudal entrante o saliente de la balsa y la correspondiente evolución del nivel de la misma. La altura piezométrica en cada intervalo temporal se actualiza automáticamente con las variaciones de nivel y se comprueba que el nivel no ha excedido los niveles máximo y mínimo, dando una alarma en caso necesario.

NODOS DONDE EL CONSUMO ES CONOCIDO E INDEPENDIENTE DE LA PRESIÓN LOCAL: NODO DE UNIÓN, NODO DE CONSUMO CONOCIDO.

En estos nodos la demanda o la entrada de caudal se supone conocida a priori e independiente de la presión local. La independencia del consumo de la presión local no va a ser una condición de contorno absolutamente realista para todos los estados de operación de la red (ver Anexo AI.3.3) por lo que la especificación de un nodo de tales características debe ser revisada si fuera precisa. Desde el punto de vista hidráulico, en los nodos donde el consumo sea conocido se especificará además por parte del usuario la cota correspondiente, con objeto de determinar la presión una vez devueltas las alturas piezométricas en dichos nodos por parte del módulo de cálculo.

NODO DE UNIÓN

El programa asume que es un nodo donde no hay entrada ni salida de caudal. Los puntos finales de tramos de tuberías, bifurcaciones, cambios de diámetro y cualquier punto singular en el que se desee conocer la presión deberá ser modelizado con este tipo de nodo.

NODO DE CONSUMO CONOCIDO

El usuario especifica la demanda instantánea, positiva o negativa, que tendrá lugar siempre que se abre el punto de consumo, demanda que se supone constante e independiente de la presión de alimentación.

NODOS HÍBRIDOS: HIDRANTES REGULADORES Y EMISORES

Los nodos híbridos son: los *Hidrantes Reguladores* y los *Emisores*, que reúnen comportamientos combinados de diversos tipos de nodos y elementos para modelar de forma sencilla y realista dispositivos frecuentes en las redes.

HIDRANTE REGULADOR

En el *Hidrante Regulador* además de los datos correspondientes a un nodo de consumo conocido se especifica la presión de consigna que el hidrante ha de suministrar a la red que alimenta y los coeficientes K_s y N que caracterizan el comportamiento hidráulico de dicha red sintetizado por una expresión del tipo (Anexo AI.1).

$$\Delta H = K_s Q^N$$

Si la presión en la red aguas arriba del hidrante es suficiente como para mantener la presión de consigna, el nodo se configura como nodo de consumo conocido. Si no es así, el nodo se toma como un punto de emisión con caudal emitido dependiente de la presión según la fórmula anterior (Anexo AI.1).

Este tipo de nodo posibilita la simulación precisa y realista de las redes y de las condiciones de consumo en escenarios donde, por exceso de demanda, por ejemplo, algunos hidrantes no son alimentados con presión suficiente y, en consecuencia, suministran a la parcela caudales inferiores de la demanda de consigna. También permiten, como se verá más adelante, tratar correctamente el comportamiento de válvulas sostenedoras de presión y limitadoras de caudal en redes ramificadas.

EMISOR

El nodo emisor consta de un tramo de conducción que termina en un punto abierto a la atmósfera, que es el nodo de emisión (ver al respecto *Anexo III*, pág. 265). Las condiciones en el nodo final en contacto con la atmósfera corresponden a las de altura piezométrica conocida, puesto que la presión allí es justamente atmosférica y la cota del punto de emisión es un dato dado por la topología de la red. El conducto asociado al emisor contiene todos los recursos y características de un conducto de sección constante. Las pérdidas de altura piezométrica en el emisor, debidas tanto a las pérdidas de carga internas como a la energía cinética en el punto de emisión, se representan mediante una ecuación del tipo (Anexo AIII.2).

$$\Delta H = \frac{1}{2g} \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum k \right) \frac{Q^2}{S^2} + K_s Q^N$$

No resulta conveniente dar el tratamiento de emisor individualizado a cada gotero en un riego localizado, ya que su alto número satura la capacidad de cálculo del ordenador innecesariamente. Para los ramales con goteros, se ha elaborado una modelización diferenciada para grupos de goteros, con respuesta de caudal dependiente de la presión.*^{12,14}. Mientras esta modelización se completa se puede aplicar el tratamiento convencional que asimila el comportamiento hidráulico de los goteros y cintas de exudación a ramales con consumo en ruta con caudal emitido independiente de la presión, cuya longitud es afectada por los factores de *Christiansen*^{5,6}.

2.5.2 TIPOS DE ELEMENTOS HIDRÁULICOS RECONOCIDOS

- ◆ Conducción de sección constante con o sin pérdidas singulares adicionales.
- ◆ Válvulas automáticas reguladoras: reductoras de presión, sostenedoras de presión y limitadoras de caudal.
- ◆ Bombas hidráulicas.

CONDUCCIÓN DE SECCIÓN CONSTANTE CON O SIN PÉRDIDAS SINGULARES ADICIONALES

El programa admite el cálculo de la pérdida de carga en los elementos en régimen turbulento mediante diversas formulaciones, entre las que se encuentran la de *Darcy-Weisbach* con coeficiente de pérdidas dado por la expresión implícita de Colebrook, y las de tipo monómico como *Hazen-Williams*, *Blasius*, *Manning*...

Incorpora a su vez la posibilidad de trabajar con redes que poseen ramales en régimen laminar y turbulento simultáneamente. Son las llamadas formulaciones mixtas en las que se comprueba si el régimen es laminar-turbulento en cada conducto para emplear la formulación que corresponda.

El programa incorpora también la posibilidad de introducir en cada conducción una serie de elementos adicionales:

Pérdidas singulares: un número arbitrario de pérdidas singulares del tipo $\Delta H = k 1/(2 g S^2) Q^N$, así como pérdidas singulares generalizadas de formulación $\Delta H = K_s Q^N$ pueden ser añadidas a cada elemento pasivo.

Los coeficientes k y N de las pérdidas singulares en accesorios se comunican automáticamente desde las bases de datos correspondientes a elementos singulares, a la que tiene acceso para su modificación o extensión el usuario.

Los valores de K_s y N , que reproducen la disipación de altura piezométrica en dispositivos cualesquiera, deben ser suministradas por el usuario en las ventanas de diálogo correspondientes.

Si no se dispone directamente de los valores de K_s y N , sino de parejas de valores experimentales que describen la pérdida de energía en el accesorio en función del caudal circulante, el entorno gráfico da acceso a una utilidad auxiliar que obtiene un ajuste potencial por mínimos cuadrados a los valores introducidos, suministrando automáticamente valores para K_s y N que se pegan en las ventanas respectivas.

Pérdidas en Bifurcaciones: El paquete de cálculo incorpora una opción para incluir automáticamente el cómputo de pérdidas singulares en las bifurcaciones y uniones (en periodo de prueba). Se consideran exclusivamente enlaces de tres conductos a 90°. Según los sentidos de circulación los tramos de la unión y la magnitud relativa de los caudales bifurcados o reunidos se establecen los correspondientes coeficientes de pérdidas de acuerdo a las expresiones recogidas en la referencia 3.

Válvulas de retención: dispositivo lógico que solo permite el flujo en la dirección especificada cuando se crea el dispositivo. Las pérdidas singulares que introduce la válvula de retención pueden contemplarse bajo el epígrafe anterior.

Válvula cerrada: dispositivo lógico que impide el paso de flujo por un conducto. Hay que tener precaución al proceder a cerrar válvulas en redes ramificadas en que reinen exclusivamente condiciones de consumo forzado aguas abajo, ya que se producen situaciones incompatibles físicamente al quedar zonas desconectadas. Con objeto de prevenir al usuario sobre este extremo y resolver otras situaciones donde por cambio de estado de algún elemento (válvulas de regulación, bombas,...) queden

desconectados grupos de nodos de la red, se ha desarrollado un algoritmo que localiza los nodos sin presión de referencia y genera la correspondiente alarma o el cambio de las condiciones de contorno, según proceda.

Válvulas automáticas reguladoras: Se han modelado los comportamientos de las válvulas automáticas más frecuentes: reductoras de presión, sostenedoras de presión y limitadoras de caudal, prestándose una especial atención a la correcta implementación de los estados operativos y límites de todas ellas en cualquier contexto, incluyendo su ubicación en ramales.

Válvulas reductoras de presión: Permiten mantener una determinada presión de consigna en aguas abajo de la válvula, siempre y cuando la presión sea suficiente aguas arriba. Las válvulas reductoras de presión incorporan en la presente versión el tratamiento de condiciones límite: apertura total cuando no existe suficiente presión aguas arriba para alcanzar la presión de regulación, cierre de la válvula si el flujo se invierte y presión de consigna aguas abajo si no hay caudal.

Válvulas sostenedoras de presión: Mantienen la presión aguas arriba de la válvula en un valor de consigna cuando esta desciende por causa de un exceso de caudal en la conducción. Cuando la presión es superior a la consigna, la válvula permanece abierta introduciendo exclusivamente la pérdida de carga que corresponde a la apertura total. Se han investigado e implementado estrategias innovadoras para reproducir correctamente el funcionamiento activo de estos dispositivos en ramales no interconectados donde sólo existan nodos de unión y de consumo conocido. Los algoritmos convencionales implantados en los modelos de simulación hidráulica habituales fracasan en tales casos, de singular importancia en los sistemas de riego, puesto que fijan la presión de consigna aguas arriba y dejan sin presión de referencia a todos los nodos situados aguas abajo que contienen exclusivamente condiciones de caudal impuesto. Sin embargo, en la práctica, la válvula realiza su función reguladora estrangulando el paso del flujo y reduciendo la presión aguas abajo. Este descenso de presión debe ser suficiente como para provocar que en los puntos de demanda disminuya el caudal extraído hasta un nivel tal que la reducción de caudal neto circulante en el tramo de instalación de la válvula suponga una reducción paralela de la pérdidas, aguas arriba de válvula, hasta justamente elevar la presión al valor de consigna. Para simular el comportamiento real de las válvula sostenedoras de presión en ramales aislados, *GESTAR* exige la existencia de suficientes puntos de consumo modelados como hidrantes reguladores aguas abajo, de manera que éstos puedan cambiar de estado por acción de la válvula sostenedora y alcanzarse condiciones compatibles.

Válvulas limitadoras de caudal. Al igual que las válvulas sostenedoras de presión las válvulas limitadoras de caudal permanecen inactivas, completamente abiertas, si el caudal circulante no supera la consigna. Cuando el caudal tiende a exceder el tarado fijado, de manera análoga a las válvulas sostenedoras, comienzan a estrangular la sección de paso, provocando una caída de presión suficiente como para reducir el caudal extraído aguas abajo hasta el valor de consigna. Son de aplicación las mismas consideraciones que se han expuesto respecto a los problemas de modelización de válvulas sostenedoras en ramales donde todos los nodos tienen condición de caudal. La estrategia implementada para resolver el problema es también coincidente.

Bombas hidráulicas

Los grupos de impulsión se encuentran implementados mediante la curva característica que establece altura de impulsión suministrada en función del caudal bombeado, $HB(Q)$, aproximada mediante un polinomio de segundo grado:

$$HB(Q) = C - B Q - A Q^2 \quad (2.7)$$

cuyos coeficientes A , B , C los facilita el usuario o se aproximan por técnicas de mínimos cuadrados mediante las herramientas auxiliares del “interface” gráfico de *GESTAR*. Las bombas incorporan un control antirretorno y permiten la extrapolación de la curva característica a caudales superiores al de altura de impulsión nula. Se han incorporado utilidades de ajuste por mínimos cuadrados de las curvas características de las bombas de impulsión. Para ello se deben suministrar pares de valores altura/caudal y ordenar el ajuste una vez introducidos puntos suficientes. La curva de ajuste se muestra junto a la nube de puntos introducidos para comprobar la bondad de la aproximación y corregir la entrada de datos si fuera necesario. Los coeficientes resultado del ajuste se pegan automáticamente en las ventanas correspondientes.

2.6 TÉCNICAS DE DISEÑO INVERSO

En las técnicas de *Análisis Nodal* el número de condiciones de contorno, relativas a nodos y elementos, que pueden imponerse y el número de incógnitas hidráulicas que pueden resolverse es igual al número de nodos de la red. Comúnmente se establece una condición en cada nodo: en los nodos de demanda o suministro de caudal conocido se especifica una condición de caudal, mientras que en los nodos conectados a puntos de presión dada (depósitos, reguladores, descargas a la atmósfera,...) se especifica la altura piezométrica. El cálculo devolverá el valor de la otra variable nodal, altura o caudal respectivamente.

El módulo de cálculo de *GESTAR*, *NETCAL.DLL*, introduce la innovación, en el contexto de los métodos nodales, de permitir además una elección general y flexible del juego de datos e incógnitas, lo que resulta sumamente útil con propósitos de regulación, optimización y búsqueda de parámetros, técnica que globalmente se conocen como análisis inverso de redes.

Esto se materializa mediante la posibilidad de *definir Nodos con Doble Condición*, esto es, con caudal y altura piezométrica especificada. Por cada nodo con condición duplicada, puesto que el número de condiciones a especificar es siempre igual al número de nodos, deberá liberarse de condición algún parámetro del sistema.

El parámetro liberado constituye un grado de libertad del sistema que deberá ajustarse para alcanzar los objetivos definidos por los *Nodos de Doble Condición*. Los grados de libertad que el módulo de cálculo de *GESTAR* puede manejar en la actual versión son los siguientes:

- ◆ **Nodo sin condición de contorno impuesta**
- ◆ **Elemento sin características hidráulicas impuestas**

◆ **Parámetro común a un grupo de elementos (diámetro o rugosidad)**

NODO SIN CONDICIÓN DE CONTORNO IMPUESTA

Cuando se libera de condición un nodo, *GESTAR* devuelve en el mismo, como resultado del cálculo, la altura piezométrica y caudal demandado en el nodo, con lo que se determinará la cota de la lámina libre, o el punto de funcionamiento de la impulsión, necesarios para suministrar el servicio especificado en los nodos de doble condición.

ELEMENTO SIN CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS IMPUESTAS.

Para cada elemento de resistencia hidráulica desconocida, se puede establecer una dimensión del conducto, (longitud o diámetro), o su rugosidad, o el coeficiente de pérdidas de una válvula de regulación, o el elemento impulsor necesarios para alcanzar valores dados de caudal y presión en otros ciertos nodos de doble condición.

En los elementos sin características hidráulicas el caudal circulante por el elemento se convierte en el grado de libertad buscado. Una vez que el módulo ha ejecutado el cálculo, en función del signo de este caudal, Q , y de la diferencia de alturas nodales, ΔH , encontradas entre los nodos extremos del elemento sin características hidráulicas, se discrimina si dicho elemento se comporta como elemento activo o elemento pasivo. En el primer caso se suministra el punto de funcionamiento del grupo impulsor requerido, dado por el caudal circulante y la altura de impulsión precisa. En el segundo caso, elemento pasivo, se determinará la característica resistente del mismo, $K_s = \Delta H / Q^2$, necesaria para cumplir los requisitos especificados como doble condición. El parámetro K_s se devuelve por defecto, pero *GESTAR* también puede encontrar alternativamente, si así se le indica, alguno de los tres parámetros siguientes longitud o rugosidad absoluta, especificando el usuario los otros dos.

DISEÑO INVERSO CON GRUPOS DE CONDUCCIONES

Si el grado de libertad disponible para ajustar las condiciones duplicadas es un parámetro común a un grupo de conductos, la dependencia analítica del sistema respecto a dicho elemento es extraída, modificándose la formulación del sistema de ecuaciones a resolver (2.6) para hacer aparecer explícitamente el parámetro común en el vector de incógnitas H . Según la naturaleza del parámetro las expresiones y algoritmos a utilizar serán distintos. Hasta el momento se han investigado estrategias para encontrar por análisis inverso los dos parámetros más habituales: diámetro común de un grupo de conductos y rugosidad común de un grupo de conductos.

Gracias a la posibilidad de intercambiar el juego de datos e incógnitas, mediante la definición de nodos de doble condición, nodos sin condición, elementos sin características hidráulicas impuestas y parámetros comunes a un grupo de

conducciones, *GESTAR* permite dar acceso al análisis inverso cuyas aplicaciones son innumerables. Entre ellas podríamos citar algunos ejemplos:

- ◆ Formulación de las curvas de consigna de las estaciones de bombeo para seguir las evoluciones temporales de la red.
- ◆ Determinación de los niveles de presurización necesarios para garantizar los caudales demandados a las presiones requeridas en los puntos más desfavorables de la red.
- ◆ Actuaciones precisas de regulación en válvulas o bombas para llenar o vaciar múltiples depósitos a un ritmo dado.
- ◆ El valor de consigna de las válvulas reguladoras de presión requerido para proteger un cierto sector.
- ◆ El tipo de conducción (diámetro, rugosidad o longitud), y grado de apertura de válvulas reguladoras necesarios para cumplir cierto suministro.
- ◆ Calibración de parámetros del modelo de la red.
- ◆ Detección de fugas mediante la medida simultánea de presiones y caudales en ciertos puntos de la red y el cálculo inverso de los coeficientes de pérdidas en los puntos de posible fuga.
- ◆ Reducción de diámetros de arterias mediante ubicación de elementos que produzcan mallados tendentes a la uniformización o elevación de presiones.

Mediante la aplicación imaginativa de la capacidad de que se dispone para intercambiar flexiblemente datos e incógnitas, pueden encontrarse respuestas inmediatas a éstos y otros problemas de diseño, regulación y optimización que de otra manera requerirían un tedioso, o impracticable, proceso de prueba y error.

2.7 HERRAMIENTAS PARA LA CREACIÓN DE REDES

Los aspectos relativos a la creación y modificación de redes son controlados por el entorno gráfico de *GESTAR*. De forma sintética se resumen los recursos disponibles:

Todos los tipos de nodos y elementos poseen su propia ventana de definición e icono característico, ver ejemplo en la FIGURA 3. 3, pág. 45, y en la FIGURA 3. 4, pág. 46.

Todos los componentes admiten identificadores alfanuméricos de hasta 8 caracteres. Los identificadores se generan por defecto según el tipo de componente y pueden ser modificados por el usuario.

Las conducciones poseen varios iconos adicionales para resaltar la existencia de elementos internos adicionales (válvulas de estrangulación, válvula cerrada, válvula de retención, pérdidas singulares).

Las casillas de diálogo indican el parámetro a introducir y las unidades a emplear. Existe además un control de rangos y formatos de los valores introducidos, así como una verificación interna de la consistencia de los parámetros que están vinculados por relaciones restrictivas.

Las ventanas de definición de todos los tipos de nodos (salvo emisores) tienen una estructura común, pudiendo transformar un tipo de nodo en cualquier otro mediante una ventana de selección (FIGURA 3. 3, pág. 45).

En los nodos de *Consumo Conocido* e *Hidrantes Reguladores* puede establecerse la dotación como dato de entrada, (calculándose optativamente la probabilidad de apertura del hidrante si se suministran los valores de superficie regada, caudal ficticio continuo y rendimiento de la red) o, alternativamente, puede establecerse como dato el grado de libertad deseado, suministrando además la superficie regada, el caudal ficticio continuo y el rendimiento de la red, en función de lo cual se deduce la dotación necesaria.

Las conducciones admiten el trazado con múltiples vértices intermedios calculándose su longitud automáticamente. Para ayudar al posicionamiento de nodos y trazado de conducciones con las herramientas nativas de *GESTAR*, pueden importarse fondos digitalizados de tipo *metafile*.

Pueden insertarse textos en cualquier punto del esquema de la red, con formato de edición a gusto del usuario y se dispone de herramientas para su modificación o eliminación.

Las características y propiedades de cada nodo y elemento pueden editarse mediante un doble “clic” en el icono correspondiente. Las conducciones reconocen esta instrucción en cualquier punto de su trazado.

La topología de la red puede crearse mediante cuatro procedimientos: posicionamiento de nodos y trazado de elementos con las herramientas nativas de *GESTAR*, importación de coordenadas de nodos (tomados todos como nodos de unión) desde fichero *ASCII*, importación de datos de la red desde una base de datos *ACCESS* e importación desde *AUTOCAD 2000*, *AUTOCAD 2000i*, *AUTOCAD MAP 2000* a través de *GestarCAD*.

Pueden definirse valores por defecto para todos los parámetros que obligatoriamente hay que especificar en las ventanas de nodos y elementos. Cuando se carga manualmente algún parámetro opcional, el último valor establecido se guarda como defecto para los siguientes.

Se suministran las herramientas habituales para acometer la definición y retoque de la red: zoom +/-, borrar, seleccionar componentes individuales o dentro de área, desplazar, mostrar y ocultar iconos de los componentes, buscar componentes, etc.

Mediante los menús de tipo copiar, cortar, pegar, pueden reproducirse disposiciones de grupos de conducciones y algunos tipos de nodos duplicando su estructura y datos.

Pueden definirse en un grupo de componentes homogéneos seleccionados, valores comunes de cualquiera de sus parámetros de definición.

2.8 CONEXIONES CON BASES DE DATOS

Existen diversas bases de datos que, suministrando información técnica sobre los componentes susceptibles de ser ensamblados, facilitan la construcción y carga del modelo informático. Estas bases de datos tienen formato *ACCESS* y son accesibles al usuario, que puede editarlas, modificarlas o ampliarlas a discreción. Se suministran además, dentro del propio programa, herramientas interactivas para la creación, mantenimiento y ampliación de todas las bases de datos. Las bases de datos actualmente disponibles para facilitar la entrada de datos hacen referencia a conducciones, pérdidas de carga singulares, pérdidas de carga en válvulas y emisores.

Se suministra además la posibilidad de exportar toda la información constructiva, condiciones de contorno y resultados del cálculo de un escenario a una base de datos específica con formato *ACCESS*. Asimismo puede importarse en la misma estructura la información constructiva de un red. Estos recursos facilitan enormemente el análisis y manipulación sistemáticos de datos y resultados. Cualquier estudio de tendencias, de valores estadísticos, filtrado, cambio selectivo, etc., puede acometerse mediante las herramientas propias del manejo de la base de datos, accesibles mediante esta opción.

Las características comerciales y técnicas de los diversos tipos de conducciones pueden ser incorporadas automáticamente mediante la comunicación interactiva con la base de datos *ACCESS* que contiene información del diámetro interior y exterior de las tuberías, rugosidad, peso, precio, etc., para cada fabricante, material y timbraje.

La base de datos de emisores facilita información sobre dispositivos tales como cañones aspersores, aspersores, micro-aspersores, rociadores, mangueras, atomizadores y todo tipo de dispositivos de proyección de caudal que convenga tratar individualmente. La base de datos para cada fabricante, modelo y tipo de boquilla recoge, al menos, el caudal emitido para cada presión de alimentación documentada, y se pueden incorporar otros campos de tipo informativo como el alcance y pluviometría, peso, precio, etc. Con los pares de valores presión/caudal disponibles para cada combinación aspersor-boquilla dentro de la base de datos se ajusta automáticamente, mediante un procedimiento de mínimos cuadrados, los valores de K_s y N de la curva de respuesta presión/caudal del emisor del tipo elegido.

Los coeficientes de pérdidas singulares introducidos por todo tipo de elementos hidráulicos, incluyendo válvulas, pueden ser cargados en una conducción desde una base de datos específica. En dicha base de datos, para cada tipo de elemento definido se asocia una tabla de la que se extrae el coeficiente de pérdida singular, y eventualmente el exponente de la ecuación de pérdidas. Cada tipo de elemento singular puede poseer un parámetro en función del cual el coeficiente puede variar, por ejemplo ángulo de un codo de radio de curvatura dado, grado de contracción de un cambio de sección, apertura de un tipo de válvula, etc. La tabla asociada a cada tipo de elemento contiene la correspondencia entre el parámetro variable y el coeficiente de pérdidas.

2.9 SALIDA DE RESULTADOS

GESTAR facilita siete procedimientos, de tipo numérico y/o gráfico, para el volcado de información, consulta y análisis de resultados. Dichos procedimientos se resumen a continuación:

- ◆ Listado de resultados para nodos y elementos de un escenario individual, con opciones de impresión y almacenamiento de resultados en fichero *ASCII*.
- ◆ Listado de resultados para nodos y/o elementos seleccionados en evoluciones temporales, con dos opciones: evolución temporal de una misma variable, en diferentes entidades seleccionadas, y listado del valor a lo largo del tiempo de todas las variables de una determinada entidad.
- ◆ Volcado en formato de base de datos *ACCESS* de los datos constructivos, condiciones de contorno y resultados completos de un escenario determinado.
- ◆ Ventana desplegable al pulsar el botón derecho que contiene los datos, y resultados si el cálculo se ha efectuado, correspondientes al elemento o nodo sobre el que se sitúa el cursor en el mapa de la red.
- ◆ Visualización opcional sobre mapa de la red del parámetro seleccionado referente a nodos y/o a elementos.
- ◆ Representación gráfica mediante un código de colores de datos y resultados de cada escenario, código establecido por defecto automáticamente por el programa o con leyendas y rangos definidos por el usuario para seleccionar, resaltar o identificar aquellos aspectos de interés.
- ◆ Gráficos de evolución temporal de las variables seleccionadas en una o varias entidades (nodos o elementos).

2.10 GENERACIÓN DE ESCENARIOS

Las herramientas y utilidades para la generación de escenarios en *GESTAR* se ubican en el módulo gráfico, siendo los escenarios de dos tipos esencialmente: aleatorios y deterministas. Se pueden generar además escenarios mixtos, consistentes en escenarios aleatorios en los que se establecen algunas restricciones deterministas.

ESCENARIOS ALEATORIOS

En los escenarios aleatorios el propio programa efectúa sorteos por los cuales establece qué hidrantes se encuentran abiertos y cuáles cerrados, de acuerdo a las restricciones que se impongan. A su vez los escenarios aleatorios pueden de ser de tipo simple o encadenado.

En los primeros, escenarios aleatorios simples, se establece un único sorteo por el que se abren aleatoriamente hidrantes hasta alcanzar un porcentaje, en número o en consumo*, fijado por el usuario. En los escenarios aleatorios encadenados se indica al programa el número de sorteos de cada porcentaje de demanda que quiere efectuarse. *GESTAR* realizará automática y consecutivamente los sorteos indicados, con los porcentajes de demanda especificados, calculando valores medios, máximos y mínimos.

Los sorteos aleatorios, tanto simples como encadenados, pueden efectuarse asignando a los nodos de *Consumo Conocido* e *Hidrantes Reguladores* probabilidades idénticas o diferenciadas, calculadas específicamente para cada nodo de estos dos tipos en función de los siguientes valores asociados a cada suministro que de servicio a una parcela: superficie regada, el caudal ficticio continuo y rendimiento local de la red. Estos valores se introducen en casillas de diálogo optativas existentes en las ventanas de definición de ambos tipos de nodos.

Pueden generarse escenarios mixtos cuando se trabaja con escenarios aleatorios mediante la definición de algunos hidrantes incondicionalmente abiertos/o cerrados gracias una herramienta específica. Ese tipo de escenarios resulta de interés en el análisis del comportamiento zonas con turnos fijos coexistiendo con zonas de riego a la demanda.

ESCENARIOS DETERMINISTAS

En los escenarios deterministas el conjunto de hidrantes que se encuentran abiertos en un momento dado es especificado por el usuario mediante toda una serie de herramientas de manejo. Dentro de los escenarios deterministas se encuentran los escenarios estrictamente estacionarios, sin evolución temporal, y los escenarios con evolución temporal cuasi-estacionaria (simulación en periodo extendido).

En los escenarios sin evolución temporal el único estado de apertura/cierre de hidrantes y de activación/desactivación de bombas existente es mostrado en el mapa de la red, no habiéndose almacenado ningún otro estado que se suponga anterior o posterior. Los resultados del cálculo son los asociados a la distribución de consumos y dispositivos hidráulicos que aparecen indicados.

En la especificación de escenarios deterministas se emplean herramientas que activan y desactivan hidrantes individualmente en el mapa de la red mediante técnicas “point & clic”. Asimismo puede recurrirse a órdenes de apertura/cierre de nodos de consumo conocido e hidrantes según los identificadores.

En los escenarios deterministas con evolución temporal, habiendo fijado previamente el tiempo de simulación y la duración de los intervalos, se consigna una tabla de patrones donde, para *cada Nodo de Consumo Conocido, Hidrante Regulador y Bomba*, el usuario establece los intervalos de tiempo en que se encuentran activos. Las casillas de dicha tabla se seleccionan mediante pulsación y arrastre del ratón.

Los patrones pueden ser almacenados en ficheros con extensión “.evt” y recuperados posteriormente.

Una vez especificado el patrón temporal puede efectuarse la simulación temporal. En cada instante de tiempo el módulo de cálculo *NETCAL.DLL* resuelve el

sistema hidráulico en equilibrio según el procedimiento descrito en 2.3 tomando como puntos de consumo y grupos de bombeo activos, los especificados en la tabla patrón para dicho instante. Entre un instante y el siguiente *NETCAL.DLL* evalúa el consumo efectuado en embalses, nodos de presión regulada y balsas, computándose en el último caso las variaciones de nivel correspondientes, en función de la geometría introducida para ellas, actualizándolo así el próximo paso temporal.

Una vez culminado el cálculo hidráulico de todos los instantes, los resultados y datos de la simulación hidráulica pueden consultarse haciendo avanzar o retroceder el escenario instantáneo mostrado mediante los correspondientes cursores temporales.

Los códigos de colores, valores numéricos visualizados y ventanas desplegadas para nodos y elementos en el mapa, corresponden a los resultados obtenidos en cada instante. Las tablas y gráficas de evolución temporal pueden ser llamados entonces.

2.11 ALARMAS

Para cada variable fundamental asociada a nodos y elementos puede establecerse opcionalmente un intervalo de valores aceptables, fuera del cual se supone un funcionamiento incorrecto del sistema.

Si se desea, durante el cómputo tanto de escenarios aleatorios como deterministas, puede establecerse la verificación de estos criterios generándose alarmas si alguna variable excede, por exceso o defecto, los intervalos especificados.

En los escenarios temporales, se verifica además que los niveles máximo y mínimo de las balsas no se rebasen, dando aviso e interrumpiéndose incondicionalmente la ejecución cuando se produce el evento. Los resultados temporales se guardan hasta dicho instante.

Cuando aparece una alarma se genera un informe, que es elemental en las ventanas del cursor de la *Evolución temporal* y *Sorteos encadenados*(se registra el primer nodo o elemento que se encuentra que no cumple los requisitos exigidos, indicándose el valor de la variable fallida) y completo en la ventana *Alarmas*(se registra el listado completo de nodos y/o elementos, y las respectivas variables, que han causado problemas).

En el cómputo de escenarios aleatorios encadenados, optativamente se pueden almacenar las configuraciones que han provocado las alarmas para proceder a una revisión posterior caso por caso.

En el mapa de cada escenario que ha dado lugar a alarma se resaltan los nodos y/o elementos que han generado conflictos.

En el cómputo de escenarios temporales, existe la posibilidad de continuar o interrumpir la simulación en el instante en que aparece una alarma.

2.12 COMUNICACIÓN CON OTROS PROGRAMAS

La importación/exportación de escenarios y resultados en formato *ACCESS* constituye una interesante opción ya comentada.

Puede exportarse a *EPANET 1.1e* (*Drinking Water Div.; Enviroment Protection Agency, EPA*)¹¹ redes compuestas por nodos de unión, consumo conocido, presión regulada y conducciones sin pérdidas singulares. Se crean los ficheros "*.inp" y "*.map" con los nombres que desee el usuario. Estos elementos son la base de la topología de la red y constituyen el mayor porcentaje de líneas del fichero "*.inp", ahorrando el notable esfuerzo y la constante fuente de errores que supone la edición no gráfica de la topología de los datos de nodos y conducciones. El resto de elementos y opciones, habitualmente mucho más limitadas en número, deberán ser complementadas manualmente en el fichero "*.inp" de *EPANET*. Si en *GESTAR* se ha creado algún tipo de nodo o de elemento distinto de los citados no será transferido al fichero "*.inp" de *EPANET*.

Existe finalmente una opción para la exportación e importación de ficheros en formato "*.red" para *DIOPRAM PC 1.05* (*Dept. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia*)⁹. *DIOPRAM PC 1.05* obtiene el dimensionado óptimo de redes estrictamente ramificadas que posean únicamente elementos pasivos y/o un grupo de bombeo en el nudo de cabecera de la red. La red es creada en el entorno gráfico de *GESTAR* siguiendo los requerimientos de *DIOPRAM*. Pueden generarse, de forma cómoda y fiablemente gracias al interface gráfico de *GESTAR*, los datos topológicos y constructivos, la especificación de consumos y restricciones de diseño, la selección de materiales y la asignación de datos económicos. Una vez realizada la creación del fichero para *DIOPRAM* y ejecutada dicha aplicación independiente, los resultados del dimensionado referentes a diámetro, timbraje y material seleccionado pueden ser importados al mismo esquema fichero que se utilizó en *GESTAR* para la exportación.

3. UN PRIMER EJEMPLO GUIADO DE TRABAJO

En el presente capítulo, mediante el desarrollo de un ejemplo, se va a realizar una primera aproximación del usuario al programa, ofreciendo simultáneamente una visión panorámica de los recursos más frecuentemente utilizados en *GESTAR*, visión que permite el análisis de redes presurizadas en los casos más sencillos.

En primer lugar, se describirán las diferentes formas de generar topologías de redes para, a continuación, ejecutar un conjunto de operaciones básicas sobre una red ya creada (*2-demanda2.red*) contenida en el conjunto de redes que se suministran junto con la aplicación *GESTAR*.

Con dicha red se generarán distintos escenarios (condiciones concretas de apertura o cierre de hidrantes en una topología dada) y se realizarán los cálculos de las variables desconocidas en dichos escenarios.

Después, se procederá a ilustrar brevemente las formas usuales de salida de los resultados.

Y por último vamos a explicar de una manera un poco más detallada un caso concreto de generación de escenarios deterministas metiendo la variable temporal, lo que en *GESTAR* denominamos una *simulación temporal*.

3.1 GENERACIÓN DE LA TOPOLOGÍA CONSTRUCTIVA.

Una red se constituye a base de **componentes** que son los **nodos** y los **elementos**. Por **elemento** se entiende cualquier componente hidráulico susceptible de ser recorrido por un fluido. Los elementos disponibles en *GESTAR* son: *Conducción*, *Bomba*, *Válvula de Regulación* y *Elemento Indeterminado*.

Por otra parte, un **nodo** se define como una intersección de dos o más elementos o el extremo libre de un elemento. *Nodo de Unión*, *Embalse*, *Balsa*, *Nodo de Presión Regulada*, *Nodo de Consumo Conocido*, *Hidrante Regulador*, *Nodo de Doble Condición* y *Nodo sin Condición* son los distintos tipos de nodos que *GESTAR* ofrece.

Por **generación de topología constructiva** (consultar el Anexo I para más detalles, pág.239) se entiende la creación en la ventana gráfica de *GESTAR*, por diversos métodos, de la topología y la descripción de los estados de los nodos, diámetros, rugosidades, longitudes y materiales de las conducciones y la especificación de los dispositivos y piezas especiales instaladas.

Existen diversas formas de definir la topología de una red en la ventana gráfica de *GESTAR*:

- ◆ **Abrir Red.** Esta opción está disponible en el menú *Fichero* así como en el segundo botón de la *Barra de Herramientas* (botón ). Permite la apertura de una red previamente guardada desde *GESTAR*. Los ficheros de redes de esta aplicación tienen la extensión “.red”.
- ◆ **Abrir Digitalización.** Se importan exclusivamente coordenadas de nodos procedentes de una digitalización obtenida mediante paquetes tipo *GIS/CAD*, guardados en un fichero *ASCII* (con la extensión “.map”). La información detallada de esta opción se encuentra recogida en el *Capítulo 6* de este manual (pág. 179).
- ◆ **Comunicación Externa (*AUTOCAD, ACCESS, DIOPRAM, EPANET*).** *GESTAR* ofrece la posibilidad de intercambiar información topológica y constructiva con ambas aplicaciones. Esta opción se detalla en el *Capítulo 7* (pág. 207).
- ◆ **Generación gráfica.** Consiste en la definición de los nodos y elementos de una red a partir de las herramientas dispuestas en *GESTAR*. Esta última forma de generación de topología es la que se va a tratar a continuación.

El procedimiento más inmediato para la generación de una topología constructiva se basa en la generación gráfica desde las herramientas dispuestas en *GESTAR*. Para comenzar la generación gráfica de una red se debe activar el comando *Red Nueva* (disponible en el menú *Fichero* o en el primer botón de la *Barra de Herramientas*, botón ). Se abrirá la ventana *Escala*, donde se deben especificar las dimensiones de la zona que albergará la red y el porcentaje de dicha zona visible en pantalla.

Para crear un nodo en la ventana gráfica, se deberá, en primer lugar, seleccionar el tipo de nodo colocando el cursor sobre el botón correspondiente de la *Barra de Herramientas* y pulsando con el botón principal del ratón. Después de seleccionado el tipo de nodo se sitúa el cursor sobre el punto de la ventana donde se desee ubicar el nodo y se vuelve a pulsar el botón principal del ratón. Mientras la herramienta continúe seleccionada puede repetirse la creación de componentes tantas veces como sea necesario. **Para desactivar una herramienta ya seleccionada colocará el cursor sobre la misma y se pulsará el botón derecho del ratón.** Para crear un elemento, deberán estar previamente ubicados los nodos inicial y final del elemento; la creación se realizará seleccionando el botón correspondiente de la *Barra de Herramientas* y pulsando sucesivamente sobre dichos nodos inicial y final.

Tras la creación de cada tipo de nodo y elemento, aparecerá una ventana de diálogo (salvo en *Nodo de Unión* y en *Elemento Conducción*, que por defecto no muestran su ventana de diálogo) donde se podrán precisar, si se desea, las coordenadas de la ubicación exacta del nodo, así como los diferentes parámetros necesarios para la correcta definición del nodo o elemento. Haciendo doble "clic" sobre cualquier elemento o nodo ya definido se puede editar su ventana de diálogo, donde cualquiera de sus parámetros es susceptible de ser modificado. Al crear un nodo o elemento *GESTAR*

suministra por defecto los valores de los parámetros que es obligatorio especificar, de acuerdo a los defectos establecidos en el *Menú: Opciones/ Preferencias*. Si se pulsa con el botón secundario sobre un nodo o elemento se desplegará una ventana donde figurarán las variables y parámetros definidos en la creación.

A continuación con el auxilio del fichero *2-demanda2.red*, suministrado con la instalación y unos sencillos ejemplos de operación se ilustran algunas capacidades operativas de *GESTAR* que permite adquirir cierta familiaridad con las herramientas de que dispone.

Con el objeto de abrir dicho fichero se debe activar el comando *Abrir Red*, descrito anteriormente, y seleccionar el fichero entre los distintos *Ficheros de Red* que se ofrecen en la ventana que aparece (FIGURA 3. 1). Los *Ficheros de Red* se encuentran dentro de la carpeta *Redes*.

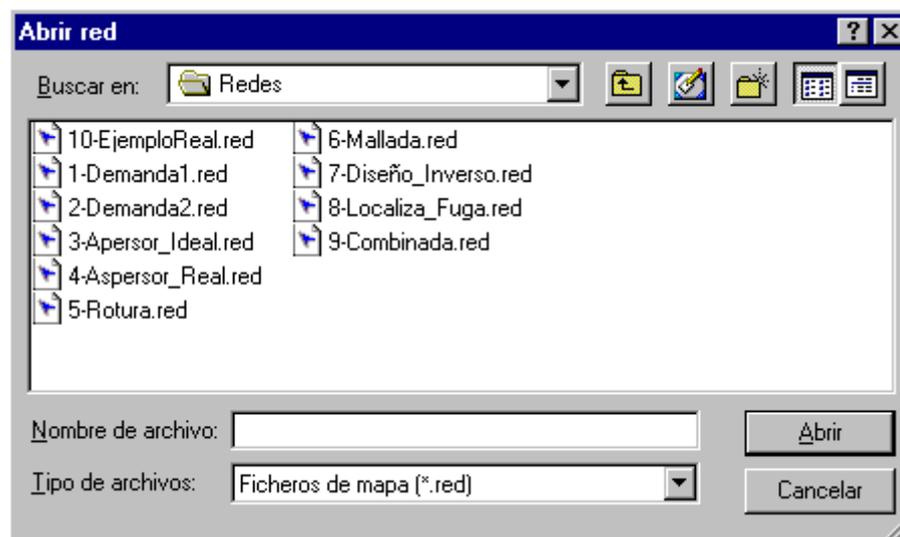


FIGURA 3. 1 Abrir Red

Tras seleccionar el fichero *2-demanda2.red* y pulsar el botón *Aceptar*, en la ventana gráfica de *GESTAR* aparecerá la red guardada en este fichero (FIGURA 3. 2).

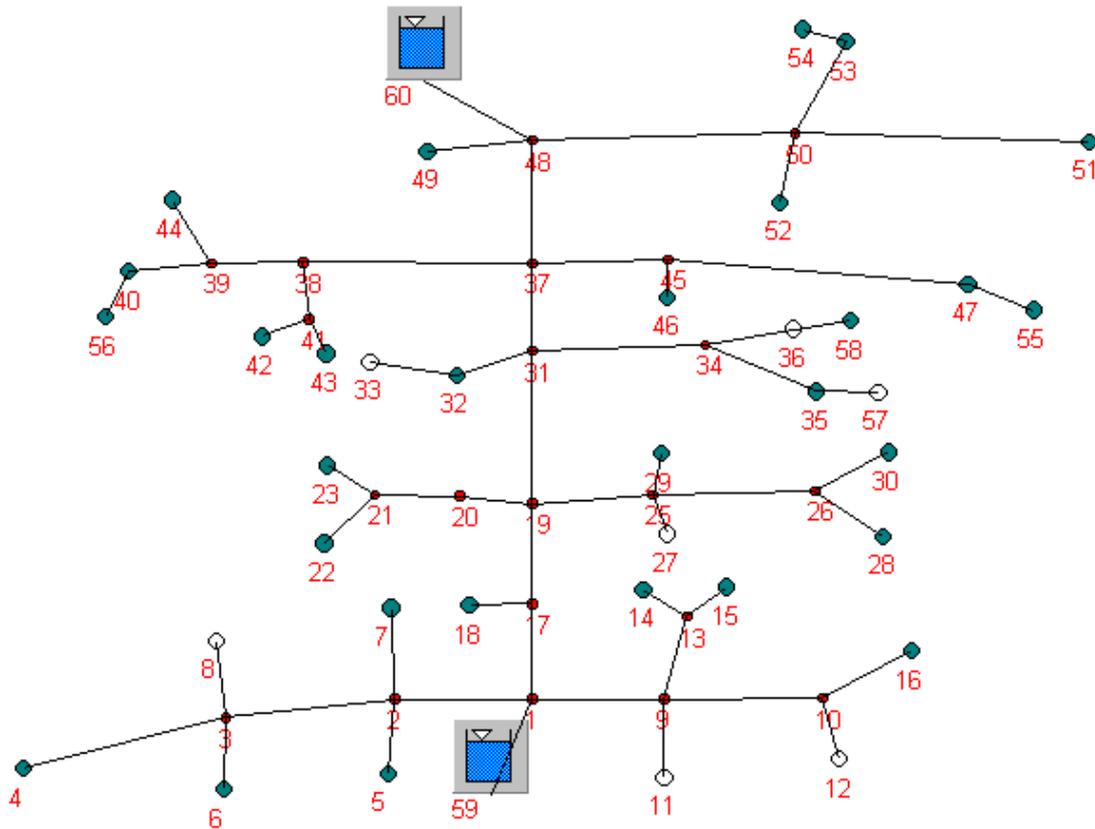


FIGURA 3. 2 Mapa de 2-demanda2.red.

Todo elemento o nodo tiene un *Identificador*. Se trata de una cadena de caracteres alfanumérica que hace la función de “nombre” del nodo o elemento. Cuando se crea un nodo o elemento, en su ventana de diálogo aparece un identificador por defecto que puede ser modificado tanto en el momento de la creación como en cualquier otro instante (mediante la edición del nodo o elemento, haciendo doble "clic" sobre él).

Para proceder a la visualización en la ventana gráfica de los identificadores del ejemplo propuesto, se deben activar, en la *Barra de Herramientas*, los botones *Ver Valores en Nodos* (N) y *Ver Valores en Elementos* (E) y seleccionar en los listados desplegables contiguos el parámetro *Ident*. En la ventana gráfica aparecerán, junto a cada nodo o elemento, los números que se les han asignado como identificadores.

Haciendo doble "clic" sobre el icono correspondiente al nodo 59 (E), situado en la parte inferior de la ventana; aparece la ventana de diálogo correspondiente a este nodo (FIGURA 3. 3).



FIGURA 3. 3 Nodo de Presión Regulada.

En esta ventana aparecen todos los parámetros concernientes al nodo editado:

- ◆ **Id.:** corresponde al identificador mencionado anteriormente.
- ◆ **Comentario:** es otra cadena de caracteres alfanuméricos en la que se puede escribir cualquier información para cada nodo. Sirve para añadir datos adicionales, como fecha, propietario, zona...
- ◆ **Tipo:** Especifica de qué clase de nodo se trata. Los parámetros asociados a cada nodo dependen del tipo de nodo (en unos nodos se requiere especificar la presión, en otros el consumo, etc.).
- ◆ **Posición:** determina la ubicación del nodo en la ventana gráfica, estando las coordenadas X (horizontal) e Y (vertical) referidas a la esquina inferior izquierda de la ventana gráfica. La cota especifica la altitud de un nodo respecto a un nivel de referencia común para todos los nodos.
- ◆ **Altura de presión:** Puesto que el nodo 59 es un *Nodo de Presión Regulada* (es decir, de presión conocida), es necesario introducir su presión. Ésta se mide en “mca” (metros de columna de agua) y está referida a la presión atmosférica, de tal modo que cuando indica un valor nulo, como en el caso de estudio, se entiende que el nodo representa una lámina libre (en contacto con la atmósfera) de agua.

El botón *Aceptar* cierra la ventana guardando los cambios realizados en ella, mientras que el botón *Cancelar* cierra la ventana sin tener en cuenta los posibles cambios realizados en la edición del nodo. En la pág. 103 de este manual se recoge toda la información referida al *Nodo de Presión Regulada*.

Tras cancelar la ventana correspondiente al nodo 59, proceda a editar el nodo 5, (doble "clic" sobre el círculo azul que lo representa). El nodo 5 está situado a la izquierda del nodo 59. Aparece la ventana de dicho nodo (FIGURA 3. 4).

FIGURA 3. 4 Nodo de Consumo Conocido.

Éste es un *Nodo de Consumo Conocido*. Este tipo de nodo comparte con el anterior los cuadros de diálogo para la definición de los parámetros *Id.*, *Comentario* y *Posición*, pero ahora se debe especificar la demanda de caudal supuesta conocida.

Habitualmente, los *Nodos de Consumo Conocido* corresponden a hidrantes dotados de reguladores de presión y limitadores de caudal que alimentan a ritmo constante, fijado por el limitador de caudal, una cierta zona de consumo, independientemente de la presión existente en el nodo. Éste es el comportamiento de un hidrante siempre y cuando la presión de alimentación se encuentre por encima de un determinado umbral (consigna) característico de los elementos de regulación instalados. Si la presión es inferior al valor de regulación del hidrante, éste no suministrará el caudal fijado inicialmente como valor de demanda, por lo que si el usuario prevé que puedan darse tales condiciones, el hidrante deberá ser configurado como *Hidrante Regulador* (ver *Nodo Hidrante Regulador*, pág. 107, y *Anexo II*, pág. 255). Para advertir durante el cálculo de la presencia de presiones inferiores a la de consigna, se debe activar la opción *Regulación* de la ventana del nodo y proceder a indicar la presión de consigna que se desea.

La definición de la demanda de un hidrante se puede hacer mediante dos procedimientos alternativos:

- ◆ En el primer procedimiento (opción por defecto) se especifica la dotación (opción *Dotación* de la ventana) del hidrante, que corresponde al consumo máximo asignado al nodo, pudiéndose variar la demanda instantánea a través de una barra de "scroll" (sin poder adoptar valores negativos ni superiores a la demanda).

- ◆ El segundo procedimiento consiste en definir el *Grado de Libertad* del hidrante (opción *Grado de Libertad* de la ventana), el inverso de la probabilidad de que una toma de este tipo esté abierta, en cuyo caso hay que especificar una serie de parámetros adicionales (superficie regada, caudal ficticio continuo, rendimiento). En el *Anexo IV* de este manual se detalla todo lo relativo a la probabilidad de apertura de un hidrante (pág. 269).

Aquellos hidrantes cuyo consumo sea no nulo, serán representados mediante un círculo de color azul claro (como este nodo 5), mientras que los que estén cerrados, es decir, con consumo nulo, tendrán color blanco (p.e. el nodo 8 de la red de estudio).

Una información más detallada de los *Nodos de Consumo Conocido* se encuentra en la pág. 104 de este manual.

Cancelando la ventana del nodo 5, abra la ventana correspondiente al elemento 4. Para ello sitúe el ratón sobre la línea blanca que representa a este elemento (parte inferior izquierda de la ventana gráfica) y haga doble "clic". Debe aparecer la ventana correspondiente a este elemento (FIGURA 3. 5).

The screenshot shows the 'Elemento 4' configuration window. It includes the following fields and sections:

- Id:** 4
- Comentario:** =
- Nodo inicial:** 3
- Nodo final:** 4
- Longitud:** 268,44 m
- Válvulas:**
 - Válvula Cerrada
 - Válvula Antirretorno
 - Tipo:** <Ninguna>
 - % Cierre:** [Empty field]
- Tubería:**
 - Fabricante / Refs:** <Ninguno>
 - Material:** <Ninguno>
 - Timbraje:** [Empty field]
- Diámetro(mm):**
 - Interior (propio): 117,6
 - Base Datos: 0 (Nominal)
- Rugosidad:** 148
- CH Hazen-Williams:** [Empty field]
- Elementos Singulares:**
 - Accesorios:**

Accesorio	Parámetro	Valor
[Empty table]		
 - Pérdidas Singulares:**

Número	Ks	N
[Empty table]		

Buttons at the bottom: Aceptar, Cancelar, Ayuda.

FIGURA 3. 5 Elemento Conducción.

En esta ventana se recogen todos los parámetros y características referentes al *Elemento Conducción*:

- ◆ **Id.:** hace referencia al identificador del elemento.
- ◆ **Comentario:** similar a los casos anteriores.
- ◆ **Nodo inicial/final:** informa de los nodos que une el elemento. La asignación inicial de nodo inicial y nodo final proviene de la creación del elemento (como se verá, un elemento se ubica seleccionando su icono en la *Barra de Herramientas* y haciendo ""clic"" sucesivamente en los nodos inicial y final). Para permutar la asignación de nodo inicial con la de nodo final, basta con pulsar el botón correspondiente de la ventana de diálogo del elemento (botón ). La asignación que se establezca influirá en los cálculos posteriores (signo de velocidades, de caídas de presión, válvulas de retención...).
- ◆ **Longitud:** al crear un elemento, *GESTAR* calcula automáticamente la longitud basándose en la ubicación de los nodos que une el elemento. Sin embargo, en la casilla *Longitud* se posibilita la introducción manual de este dato.
- ◆ **Tubería, Diámetro y Rugosidad:** La elección de la tubería se puede realizar de dos formas: extrayéndola de la base de datos que incorpora *GESTAR* o introduciendo los datos manualmente (opción por defecto). En la pág.120 y siguientes puede consultar los detalles de la selección de conducciones de la base de datos.
- ◆ **Válvula Cerrada, Válvula de Retención, Válvulas:** estas opciones hacen posible la incorporación de diferentes tipos de válvulas a la conducción.
- ◆ **Elementos Singulares:** Al pulsar sobre el botón *Añadir/ Modificar Elementos Singulares* se ofrece la posibilidad de que el cálculo de la red tenga en cuenta diversas circunstancias de pérdidas de carga en elementos singulares.
- ◆ **Ayuda:** Tenemos la posibilidad de acceder desde esta ventana a la ayuda que viene incorporada en *GESTAR*. Más concretamente nos remite a la descripción de lo que es un elemento de conducción, aunque ya desde allí nos podamos mover por lo que es todo el archivo.

En la pág. 116 encontrará toda la información referente al *Elemento Conducción*.

Pulse el botón *Cancelar* de la ventana del elemento 4 para continuar con el recorrido por *GESTAR*.

3.2 GENERACIÓN DE ESCENARIOS.

Una vez establecida una **topología constructiva** es posible la modificación del estado de apertura o cierre de los hidrantes (*Nodos de Consumo Conocido* o *Nodos Hidrantes Reguladores*) de manera individual o colectiva (mediante procedimientos aleatorios). Se denomina **escenario** al conjunto formado por una topología constructiva de red, un estado concreto de apertura o cierre de los puntos de consumo contenidos en esa red y una configuración determinada de los instrumentos de control. La generación de un escenario puede ser **determinista** o **aleatoria**.

En la generación **determinista** de un escenario el usuario establece el estado de apertura o cierre de cada uno de los hidrantes. Para ello se dispone de varios recursos. El método más directo se puede encontrar en la *Barra de Herramientas* y consiste en el botón *Abrir/ Cerrar Hidrantes* (botón ). Cuando esta opción se encuentra activada, cada pulsación con el ratón sobre un hidrante lo abre si estaba cerrado y viceversa. Los hidrantes abiertos se representan en la ventana gráfica de *GESTAR* mediante un círculo (*Nodo de Consumo Conocido*) o un cuadrado (*Nodo Hidrante Regulador*) de color azul, mientras que los hidrantes cerrados son representados con un círculo o un cuadrado blanco.

Como ilustración de lo anterior, edite el nodo 49 de la red *2-demanda2.red* haciendo doble "clic" sobre él (está situado en la parte superior de la red) y observe que su demanda está establecida en $0.03492 \text{ m}^3/\text{s}$. Cancele la edición y active la herramienta *Abrir/ Cerrar Hidrantes* pulsando con el ratón sobre ella (botón ). Pulse ahora sobre el nodo 49 y observe cómo cambia su color de azul a blanco. Desactive la herramienta pulsando con el botón secundario del ratón sobre ella (botón ). Vuelva a editar el nodo 49 para comprobar que la demanda ha pasado a ser nula, con lo que el hidrante se encuentra efectivamente cerrado. Cierre la ventana de este nodo 49 pulsando sobre el botón *Cancelar*.

La **generación aleatoria** de escenarios se basa en la utilización de procedimientos aleatorios para configurar el estado de apertura/cierre de los hidrantes por parte del propio programa. Para ello se ha dispuesto la herramienta *Sorteo* (botón  descripción pg.78). Esta herramienta permite establecer qué porcentaje de hidrantes se desea que estén abiertos. Se puede "bloquear" el estado de un hidrante, de tal modo que no se vea afectado por la utilización de la herramienta *Sorteo*, mediante la herramienta *Restricciones de Sorteos* (botón ). Cuando está activada esta opción, una primera pulsación sobre un hidrante lo abre incondicionalmente (aparece un segmento blanco sobre su icono); la segunda pulsación lo cierra incondicionalmente (el icono se vuelve gris) y la tercera lo deja abierto pero susceptible de ser sorteado (azul, sujeto a sorteo), repitiéndose el ciclo con posteriores pulsaciones.

El estado de un hidrante, por tanto, queda reflejado en la forma en que su icono aparece sobre la ventana gráfica. Dicho icono será circular si el hidrante es un *Nodo de Consumo Conocido* y cuadrado cuando es un *Nodo Hidrante Regulador*:

		(azul)	Hidrante abierto (sujeto a sorteo).
		(blanco)	Hidrante cerrado (sujeto a sorteo).
		(azul con segmento blanco)	Hidrante abierto incondicionalmente.
		(gris)	Hidrante cerrado incondicionalmente.

Abra incondicionalmente el nodo 56. Para ello, active la herramienta *Restricciones de Sorteos* pulsando sobre ella (botón) y seguidamente sobre el icono correspondiente al nodo 56 (aparecerá un segmento blanco sobre dicho icono). De igual manera, abra incondicionalmente el nodo 8. Ahora cierre incondicionalmente el nodo 40 pulsando dos veces sobre él (si las dos pulsaciones se hacen demasiado rápidas, estará editando el nodo); note que el icono correspondiente al nodo 40 ha pasado a ser gris. Desactive la herramienta *Restricciones de Sorteos* pulsando con el botón secundario del ratón sobre ella (botón).

Active ahora la herramienta *Sorteo* (botón). Aparece la ventana *Sorteo* (FIGURA 3. 6).

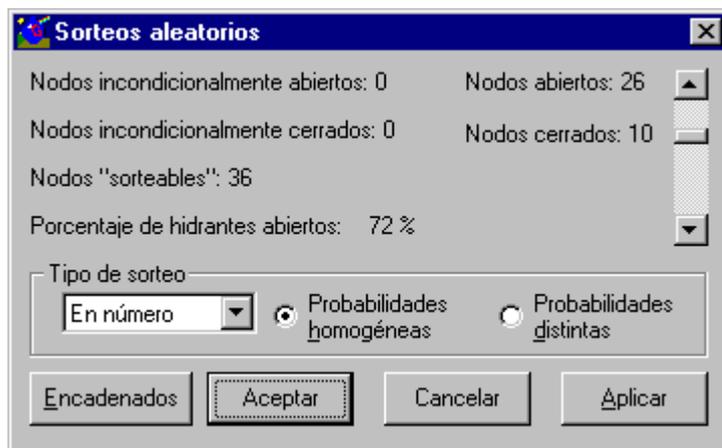


FIGURA 3. 6 Ventana de Sorteo.

En las dos primeras líneas de esta ventana quedan reflejadas las operaciones realizadas anteriormente. Como ya se ha apuntado, los nodos abiertos o cerrados incondicionalmente no van a ser modificados por el sorteo. El resto de los hidrantes de la red constituyen el grupo de los nodos "sorteables".

En el "scroll" de la ventana se establece el porcentaje de hidrantes que deben quedar abiertos en el sorteo. Establezca un porcentaje del 70% mediante dicho "scroll" y pulse el botón *Aplicar* varias veces: observe sobre la ventana gráfica cómo se va modificando el estado de los hidrantes "sorteables", mientras que los hidrantes abiertos o cerrados incondicionalmente (nodos 8, 40 y 56) permanecen en su estado.

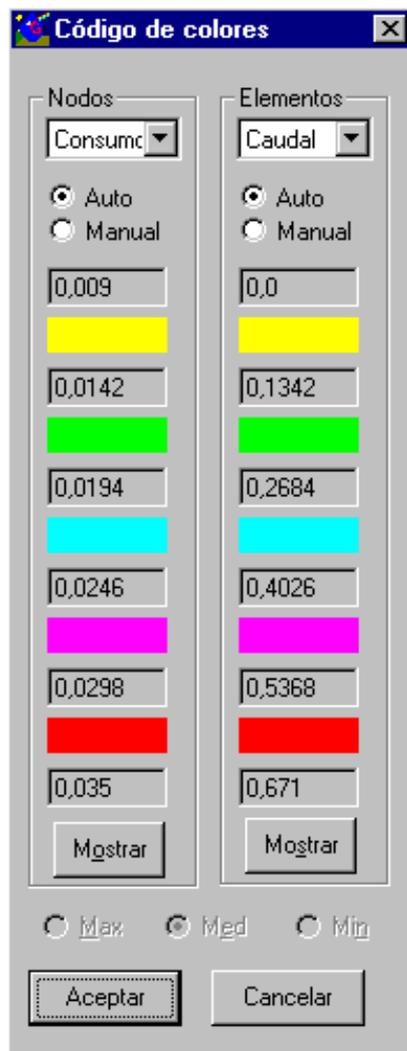


FIGURA 3. 7 Código de colores

Tras especificar toda la información correspondiente a un escenario concreto, se puede proceder al análisis hidráulico de la red. Éste se realiza mediante la herramienta *Calcular* (botón ). Pulse sobre ella. Tras unos instantes durante los cuales *GESTAR* procesa toda la información suministrada y realiza el cálculo de la red, los nodos y elementos de la red *2-demanda2.red* adquirirán diversos colores. Pulse ahora sobre el botón *Código de Colores* (botón ) para que aparezca la ventana *Código de Colores* (FIGURA 3.7).

Gracias a esta ventana es posible interpretar los colores aparecidos en la ventana gráfica, pues muestra la variable a que se refieren y en qué rango de valores de esa variable se encuentra el nodo o elemento coloreado. En esta ventana se permite representar cada una de las variables concernientes a los nodos o elementos sin más que modificar los listados desplegados de la parte superior. También son modificables los valores que definen los rangos, así como los colores utilizados en la representación (estas modificaciones son guardadas junto con la red en la opción manual). Tras configurar variables, valores y colores, pulsando los botones de *Mostrar* aparecen dos pequeñas ventanas (una para nodos y otra para elementos) que contienen toda la

El botón *Sorteos Encadenados* permite enlazar automáticamente el cálculo de escenarios aleatorios encontrando los casos críticos y los valores estadísticos.

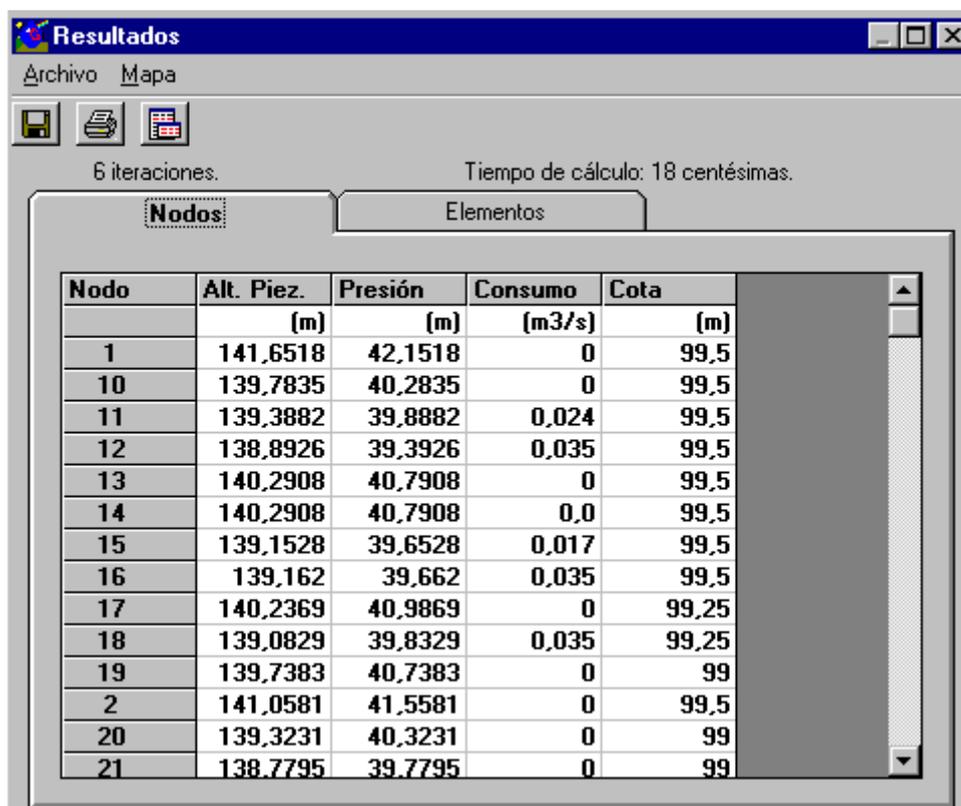
Cierre la ventana *Sorteo* mediante el botón *Aceptar*.

Las situaciones planteadas hasta ahora son situaciones estacionarias (todas las variables son independientes del tiempo). *GESTAR* también puede calcular evoluciones temporales (simulación en periodo extendido) mediante la herramienta *Evolución Temporal* (botón ) , en la cual se tienen en cuenta los sucesivos estados de demanda de la red, la activación de los grupos de bombeo y los niveles en las balsas. Esta simulación en periodo extendido vamos a tratarla de forma especial en el Apartado 3.4, pág, 51 y de forma mucho más extendida en la pág. 83 y siguientes.

3.3 CÁLCULO DE LA RED Y VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS.

información necesaria para una perfecta interpretación de la salida gráfica. Para cancelar la ventana *Código de Colores*, pulse sobre el botón que aparece en su esquina superior derecha (botón ). De esta manera, permanecerán en pantalla la solución gráfica y las ventanas de *Leyenda*.

Para conocer los valores numéricos de los resultados de un escenario o de un sorteo encadenado (valores medios en este caso), pulse sobre el botón *Resultados* de la *Barra de Herramientas* (botón ) , con lo que podrá visualizar (FIGURA 3. 8) los listados de nodos y elementos con todos sus parámetros y variables, tanto los introducidos por el usuario como dato como los provenientes del cálculo realizado por *GESTAR*.



Nodo	Alt. Piez. (m)	Presión (m)	Consumo (m3/s)	Cota (m)
1	141,6518	42,1518	0	99,5
10	139,7835	40,2835	0	99,5
11	139,3882	39,8882	0,024	99,5
12	138,8926	39,3926	0,035	99,5
13	140,2908	40,7908	0	99,5
14	140,2908	40,7908	0,0	99,5
15	139,1528	39,6528	0,017	99,5
16	139,162	39,662	0,035	99,5
17	140,2369	40,9869	0	99,25
18	139,0829	39,8329	0,035	99,25
19	139,7383	40,7383	0	99
2	141,0581	41,5581	0	99,5
20	139,3231	40,3231	0	99
21	138,7795	39,7795	0	99

FIGURA 3. 8 Resultados.

Esta ventana permite desplazarse por los listados mediante las barras de "scroll" de que disponen. También ofrece (botón ) la posibilidad de guardar los listados en un *Fichero de Resultados* (extensión ".sal") para su almacenamiento y posterior apertura mediante un procesador de texto o mediante la opción *Abrir Resultados* del menú *Fichero* de *GESTAR*. El botón  le permite obtener una impresión de los listados en su impresora.

En el menú *Mapa*, opción *Señalar* se accede a la detección en la ventana gráfica de cualquier elemento o nodo que se seleccione. Esto es útil, por ejemplo, para los nodos o elementos "problemáticos" de la red (con valores no deseados de cualquier variable). Active esta casilla y haga "clic" en los listados sobre la fila de los nodos con mayor presión (nodos 35 y 57) y sobre la fila de elemento con mayor velocidad

(elemento 30). Cierre la ventana *Resultados* y compruebe cómo han sido marcados mediante un círculo.

Haga "clic" en el botón *Eliminar Resultados* () . Los colores de la salida gráfica desaparecerán, quedando la red en la situación anterior a la realización del cálculo.

Se permite comparar los resultados de los cálculos con los rangos de diversas variables establecidos en la ventana *Alarmas*, de tal modo que *GESTAR* informará de los casos en que se han desbordado las alarmas. Como ilustración de esta característica, active la opción *Configuración* en el menú *Alarmas*, o presione directamente el botón , en la barra de herramientas. En la pantalla aparecerá la ventana *Alarmas*. Active, en esta ventana, la casilla *Módulo de Velocidad en conducciones* y establezca como rango de valores admisibles de velocidad 0 m/s (mínimo) y 1.6 m/s (máximo). De igual modo, active la casilla *Presión en nodos* y escriba como límites 0 mca y 42 mca. La ventana ha de quedar igual que la de la FIGURA 3. 9.



	Mínimo	Máximo	Unidad
<input checked="" type="checkbox"/> Módulo de Velocidad en conducciones	0	1.6	m / s
<input type="checkbox"/> Módulo de Pérdida carga/ Long. en conducciones			
<input type="checkbox"/> Módulo de Velocidad en bombas			m / s
<input type="checkbox"/> Módulo de Velocidad en válvulas			m / s
<input type="checkbox"/> Módulo de Velocidad en los elementos de goteo			m / s
<input checked="" type="checkbox"/> Presión en nodos	0	42	m c a
<input type="checkbox"/> Módulo de Caudal en nodos			m3 / s
<input type="checkbox"/> Niveles en balsas			
<input type="checkbox"/> Hidrantes desbordados			
<input type="checkbox"/> Cavitación de bombas			
<input type="checkbox"/> Guardar casos críticos			

FIGURA 3. 9 Ventana Alarmas

Pulse el botón *Aceptar* de la ventana y a continuación, active la herramienta *Calcular* (botón ) de la *Barra de Herramientas*. De nuevo, *GESTAR* realiza los cálculos correspondientes a la situación actual y muestra la salida gráfica. Pero ahora añade información relativa al incumplimiento de los rangos establecidos en la ventana *Alarmas*. Los nodos que, en alguna de sus variables, han desbordado las alarmas aparecen rodeados de un círculo de color rojo, mientras que los elementos serán

representados por una línea de trazos. En la FIGURA 3. 10 se muestra un caso de desbordamiento de alarmas donde se han señalado mediante flechas negras los nodos y el elemento que han producido el desbordamiento.

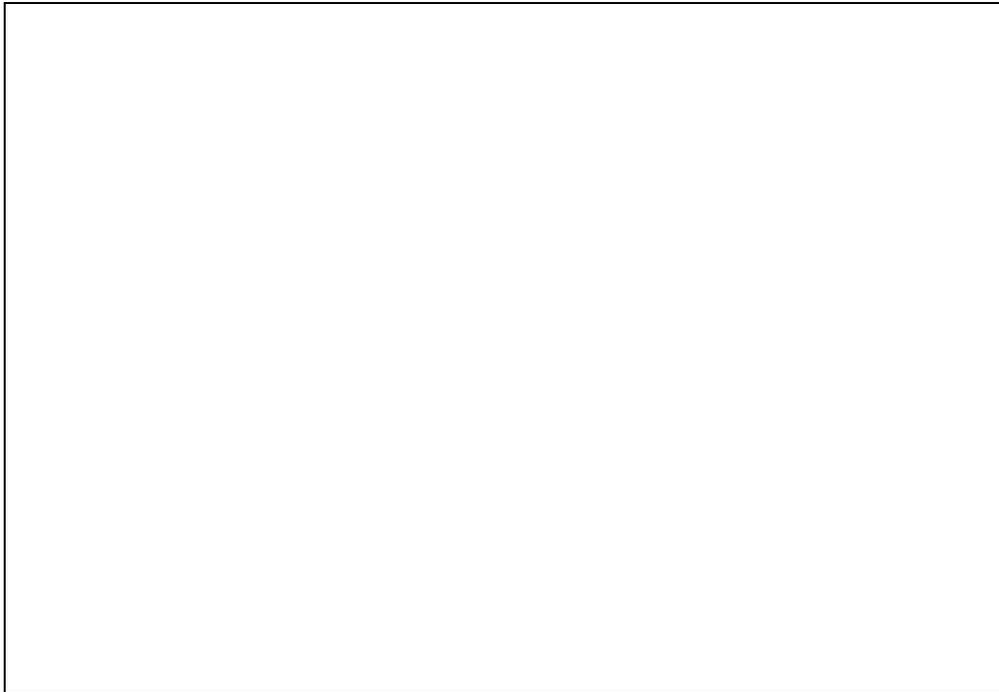


FIGURA 3. 10 Representación gráfica del desbordamiento de las alarmas

Toda la información relativa a las alarmas la encontrará en la pág. 172 y siguientes.

Haga "clic" en el botón *Eliminar Resultados* () para volver a la situación anterior al cálculo. Ahora sería posible la introducción de modificaciones en la red (por ejemplo, aumentar el diámetro de las conducciones con velocidad excesiva). Cuando se edita un nodo o elemento y se valida su ventana, también se eliminan los resultados anteriores.

Para finalizar esta visión panorámica, queda mencionar la posibilidad de obtener la evolución en el tiempo de cualquier variable o grupo de variables como resultado de la simulación temporal. La información completa sobre esta opción la encontrará en la pág. 83 y siguientes, pero ahora vamos a realizar una pequeña demostración, que nos hará tener una pequeña idea estas prestaciones.

3.4 EVOLUCIÓN TEMPORAL

En la evolución temporal se resuelven secuencialmente un conjunto de escenarios deterministas, donde cada escenario que se calcula difiere de los demás en el estado de apertura de los hidrantes y de operación de los grupos de bombeo (especificados por el usuario) y en el nivel de fluido en los puntos de acumulación susceptibles de cambiar de nivel, *Nodo Balsa*, calculado por el programa.

Vamos pues a realizar una pequeña demostración en nuestra red *2-demanda2.red*. Activamos el botón *Evolución Temporal* (botón ) y se nos despliega la ventana siguiente:



FIGURA 3. 11 Evolución temporal

Desde aquí, lo primero que hacemos es meter el número total de escenarios y el tiempo total que queremos que dure nuestra simulación. Podemos hacerlo de dos maneras similares. Nosotros vamos a activar la casilla *Tiempo total de la simulación* y vamos a introducir manualmente en el primer hueco 24 y en el segundo escogeremos de entre todas las opciones que se nos presentan la de *HORAS*, así pues el tiempo que va a durar nuestra simulación va a ser de un día entero. Con la otra manera, hubiéramos ido a la casilla de debajo, *Número de intervalos* y hubiéramos desplazado el cursor hasta el número 24. Seguido se establece el origen temporal de la simulación en la casilla *Hora inicial*, de modo que *GESTAR* asocia un instante temporal absoluto a cada uno de los escenarios propuestos. Nosotros ponemos el origen en las 0 H. 0 M. Ahora en la casilla *Amplitud de cada intervalo* introducimos 1 HORA, y con esto ya tenemos que desde las 0:00:00 H. vamos a generar un total de 24 escenarios deterministas en una secuencia temporal de 24 horas.

Para que nuestra simulación sea completa en cuanto a la detección de errores, vamos a activar la casilla *Alarmas*, para que *GESTAR* tenga en cuenta los rangos que hallamos configurado como válidos en la ventana *Alarmas* brevemente explicada en el párrafo anterior (FIGURA 3. 9), en la cual también podemos entrar desde aquí con el

botón *Configurar*. En nuestro ejemplo solo vamos a activar la casilla *Presión en nodos*, con un rango de 0 a 48 mca. Además en el proceso de cálculo, el programa nos irá avisando (si tenemos activada la opción *Avisar* de esta ventana), de todos los escenarios que vayan teniendo alguna variable que se haya salido de los intervalos impuestos como válidos.

Pero, antes de que GESTAR empiece con el cálculo tenemos que programar los estados de apertura y cierre de los hidrantes y grupos de bombeo en cada uno de los intervalos de la evolución. Para esto entramos en la ventana *Patrones de apertura* (FIGURA 3. 12) con el botón *Patrones* y desde allí se va actuar del modo siguiente:

Patrones de apertura

Consignas Aceptar Cancelar Selección Color "X"

Hora inicial: 0 H. 0 M.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
4																								
6																								
5												X												
8			X	X	X	X	X	X	X									X	X	X	X	X	X	
7			X	X	X	X	X	X	X					X				X	X	X	X	X	X	
11			X	X	X	X	X	X	X					X										
15												X										X		
14																								
16																								
12			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X					X
18			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X				
27			X													X	X	X	X	X				
29				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
30		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X						X	X	X	X	X	X
22		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X
23		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X											X
28				X	X																			
32																X								
33										X	X					X								
35											X	X	X	X	X	X								
36			X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X								
40			X	X	X	X	X	X	X															
42			X	X	X	X	X	X	X															
43			X	X	X	X	X	X	X															
44													X	X	X	X								
46						X	X					X	X	X	X			X					X	
47						X	X					X	X	X	X				X	X				
49						X	X					X	X	X	X				X	X				
51											X													
52												X	X	X	X									

FIGURA 3. 12 Patrones de apertura

La tabla aparecerá en blanco (sino es así, lograremos este estado con el icono ) y lo que tenemos que hacer es que tenga justamente la apariencia mostrada en la FIGURA 3.12. Para ello pincharemos con el ratón en el extremo superior izquierdo de cada uno de los recuadros en rojo que se observan en la figura y arrastraremos sin soltar hasta el recuadro inferior derecho. Por ejemplo, en el recuadro primero que se ve, presionaremos en la casilla señalada en la fila 8 columna 3, y arrastraremos hasta la casilla que está en la fila 11 columna 9. Toda esta operación sirve para ir abriendo los hidrantes en los intervalos correspondientes. Siguiendo con el ejemplo, con el primer recuadro lo que hemos hecho es abrir los nodos nº 8, 7 y 11 en los intervalos que van desde las 3 hasta las 9. Todos las demás casillas sueltas se activan con solo pinchar el ratón, además deberemos activar los nodos 57 y 58, que los veremos en la tabla con el botón del "scroll", desde las 6 hasta las 16 H.

Después de rellenar la ventana como en la figura, vamos a dar validez a nuestra operación con el botón *Aceptar* y vamos a volver a la ventana principal de la evolución temporal.

Ahora si que estamos preparados para que GESTAR comience con el cálculo de esta sencilla evolución temporal. Hemos dicho sencilla ya que como se verá más detalladamente en el capítulo 4 (pág. 83), lo que hemos preparado aquí es lo más básico para que funcione esta operación, pero hay más posibilidades.

Presionamos *Ejecutar* para que el cálculo comience y vamos diciendo que *Si* cada vez que nos pregunte el programa que si deseamos continuar al haber encontrado un escenario con variables fuera de los rangos programados como alarmas. Estas ventanas nos salen porque hemos configurado la ventana (FIGURA 3. 11) con la opción *Avisar* en la parte Alarmas (sino queremos que salgan activamos *Ignorar*).

Después de todo este proceso estamos preparados para ver los resultados derivados del cálculo. Estos resultados nos van a aparecer de muy diferentes maneras, y van a ser gestionados desde la ventana *Evolución temporal* (FIGURA 3.13).



FIGURA 3. 13 Cursor de la evolución temporal

Desde aquí con los botones de la derecha y los de video, vamos a poder pasar de un escenario a otro y se va ir impresionando todo el código de colores sobre el mapa de la red. Observarás que hay algunos escenarios en los que aparecen círculos rojos alrededor de algunos nodos. Eso significa que la presión en estos nodos se ha salido del intervalo que nosotros hemos dado como válido en la ventana de alarmas. Otras formas de ver resultados es con el botón , explicado brevemente en el párrafo anterior, con el que vamos a obtener un listado numérico del valor de todas las variables en cada uno de los intervalos temporales (pasaremos de uno a otro también con los botones del cursor o los de vídeo). Y por último, tenemos la posibilidad de obtener gráficos de los valores de algunas variables en los nodos o elementos, a lo largo del tiempo que dura la simulación. Aquí nos vamos a detener un poco más ya que no hemos explicado nada antes.

Presionamos el botón  y nos va a salir la ventana siguiente que pasamos a explicar muy brevemente (FIGURA 3.14).

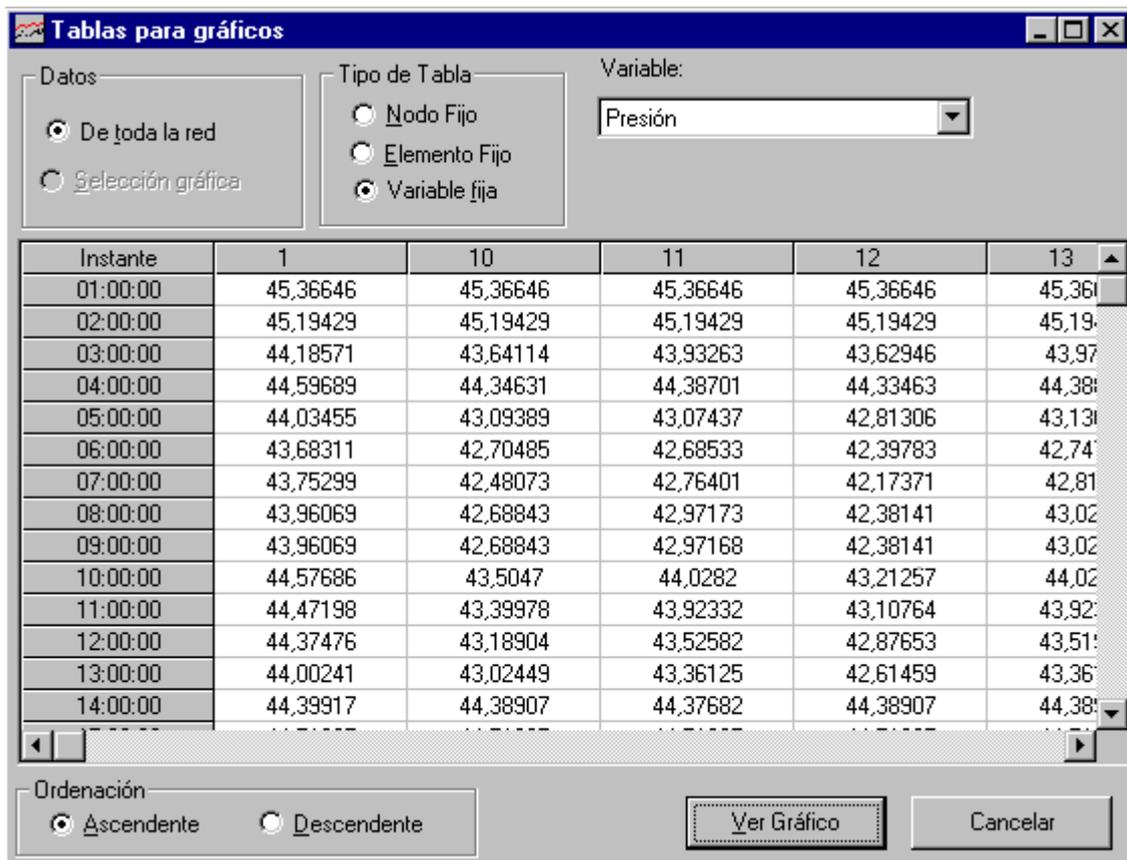


FIGURA 3. 14 Tablas para gráficos

Como vemos nos sale también un listado numérico de los valores de las variables, el cual podemos ir variando escogiendo en las ventanas desplegadas de la parte superior y seleccionando si queremos los valores de un nodo o elemento en especial, casillas *Nodo fijo* o *Elemento fijo*, o los valores de una variable, casilla *Variable fija*. Nosotros vamos a escoger la opción *Variable fija*, seleccionaremos la variable *Altura piezométrica* y desde aquí seleccionaremos los nodos 14, 15 y 16 pinchando con el ratón en la casilla donde pone su número y con la tecla Shift presionada desde el teclado a la vez.

Una vez realizado esto (mirar que las columnas de los nodos seleccionados están de color azul), pasamos a crear los gráficos temporales de estos datos pulsando el botón *Ver gráfico* de la FIGURA 3.14. Si todo va bien nos tiene que salir una tabla con un gráfico como la siguiente (FIGURA 3.15):

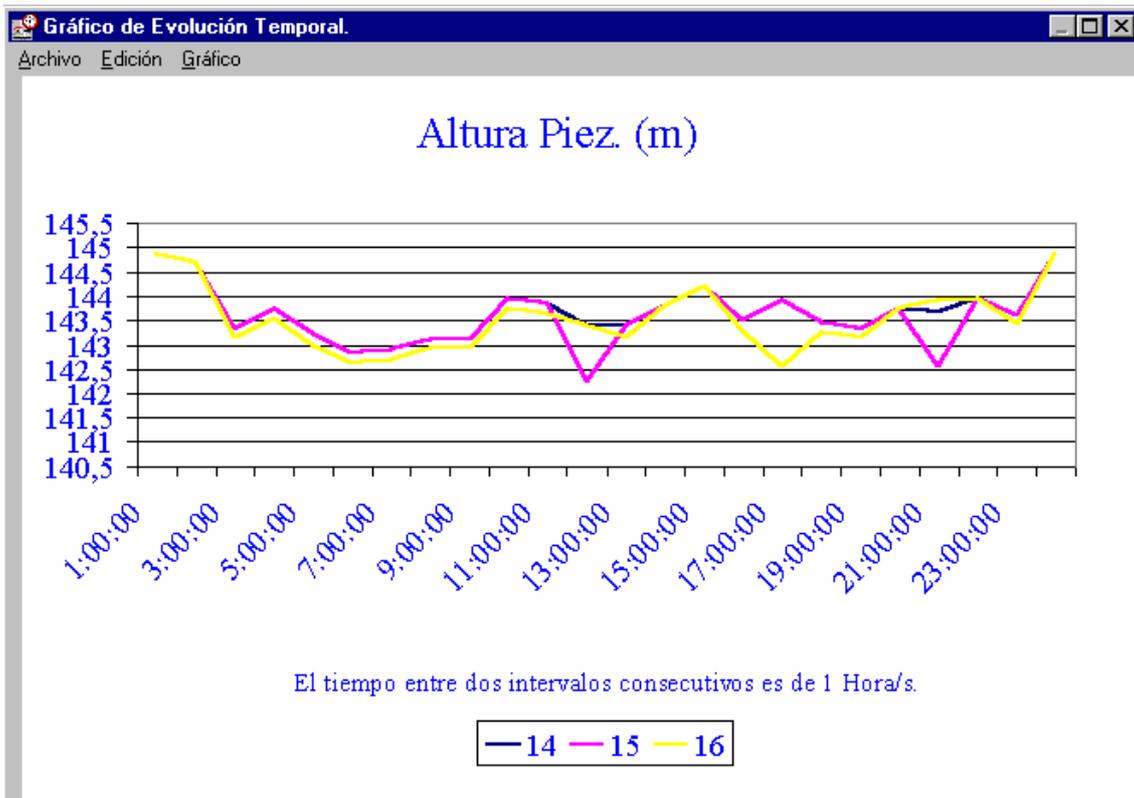


FIGURA 3. 15 Gráfico de alturas piezométricas en evolución temporal

Como vemos hemos obtenido un gráfico de los valores de la altura piezométrica (eje vertical) en una serie de nodos (ver leyenda en la parte inferior de la tabla), a lo largo de las 24 H. que dura nuestra secuencia temporal (eje horizontal). Tenemos algunas opciones en el menú de esta ventana: de configuración de la misma, de optimización de datos, etc... pero las explicaremos en su momento en lo que será la descripción de la barra de herramientas (pág. 83) y en el capítulo de Salida de resultados (pág. 200). De momento hemos cumplido el objetivo de realizar un primer acercamiento a las opciones más importantes de lo que es una evolución temporal, para la familiarización del usuario con esta herramienta.

Ahora, después de cerrar todas las ventanas que hemos ido abriendo en nuestro paseo por la evolución temporal, vamos a cerrar la red con el comando *Cerrar Red* del menú *Fichero*. Antes de cerrar la red, *GESTAR* le preguntará si desea guardar los cambios efectuados en la red (FIGURA 3.16).

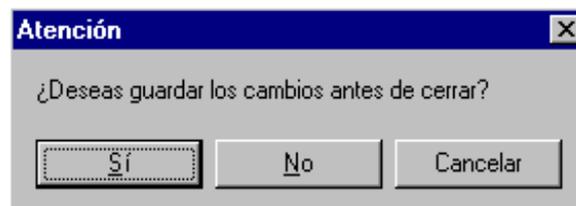


FIGURA 3. 16 Guardar Cambios.

Pulse sobre el botón *No* para cerrar la red sin guardar los cambios efectuados.

Si desea salir de *GESTAR* seleccione la opción *Salir* del menú *Fichero*.

¡Felicidades! Ha completado una primera visita guiada al programa *GESTAR*. Aunque la descripción que se ha dado de las herramientas es todavía incompleta y sucinta, este primer contacto deberá haberle familiarizado con la operativa general del programa. Ahora puede continuar explorando autónomamente *GESTAR* según sus necesidades, dado el carácter autoexplicativo de la aplicación, aunque se recomienda la lectura detallada del manual para aprovechar completamente sus recursos.

4. BARRA DE HERRAMIENTAS

El programa *GESTAR* dispone de una ventana gráfica o mapa sobre la que construir y analizar las redes y de una *Barra de Herramientas* en la que, a través de una serie de iconos, se puede abrir, guardar e imprimir redes, seleccionar los diferentes tipos de nodos y elementos utilizados en la construcción de la red. Asimismo se suministran una serie de herramientas adicionales útiles en la creación, análisis y visualización de redes.

El propósito de este capítulo es el de referenciar cada uno de los nodos, elementos y opciones disponibles en esta *Barra de Herramientas*.



FIGURA 4. 1 Barra de Herramientas.

La *Barra de Herramientas* (FIGURA 4. 1) consta de dos filas de botones o iconos. La fila superior siempre aparece visible, mientras que la fila inferior sólo está disponible cuando la ventana gráfica está activada, es decir, cuando se está creando, analizando o visualizando una red.

La activación de los iconos se realizará mediante una pulsación del botón principal del ratón en la figura correspondiente de la *Barra de Herramientas*.

Una vez activada una herramienta de la barra, ésta se desactivará pulsando el botón secundario del ratón (botón derecho) sobre el icono en cuestión o simplemente eligiendo otra operación.

4.1 ÍNDICE DE ICONOS.

A continuación se presentan cada uno de los iconos, la combinación de teclado que los activa y la página en la que se detalla su funcionamiento:

FILA SUPERIOR:

	NUEVA RED (CTRL + N)_____	65
	ABRIR RED (CTRL + O)_____	66
	GUARDAR RED (CTRL + S)_____	66
	IMPRIMIR_____	66
	CORTAR (CTRL + X)_____	66
	COPIAR (CTRL + C)_____	67
	PEGAR (CTRL + V)_____	67
	DESHACER_____	67
	REHACER_____	67
	BUSCAR NODO/ ELEMENTO (CTRL + F)_____	68
	AUMENTAR_____	68
	DISMINUIR_____	68
	DIMENSIONADO DE LA RED _____	69
	SORTEO_____	78
	EVOLUCIÓN TEMPORAL_____	83
	CALCULAR_____	90
	EDITAR LEYENDA DE COLORES (CTRL + L)_____	90
	ELIMINAR RESULTADOS_____	91
	RESULTADOS_____	91
	GRÁFICOS_____	93
	ALARMAS_____	95
	VER VALORES EN NODOS (F7)_____	95
	VER VALORES EN ELEMENTOS (F8)_____	96

FILA INFERIOR:

	SELECCIONAR_____	96
-------------------------------------------------------------------------------------	------------------	----

	SELECCIÓN RECTANGULAR_____	97
	SELECCIÓN IRREGULAR_____	98
	COMENTARIOS_____	98
	ELIMINAR NODO/ ELEMENTO_____	99
	ABRIR/ CERRAR HIDRANTES_____	99
	RESTRICCIONES DE SORTEOS_____	99
	NODO DE UNIÓN_____	101
	NODO EMBALSE_____	102
	NODO BALSA_____	103
	NODO DE PRESIÓN REGULADA_____	103
	NODO DE CONSUMO CONOCIDO._____	104
	NODO HIDRANTE REGULADOR_____	107
	NODO DE DOBLE CONDICIÓN_____	110
	NODO SIN CONDICIÓN_____	111
	NODO EMISOR_____	112
	ELEMENTO CONDUCCIÓN_____	116
	ELEMENTO GOTERO_____	128
	ELEMENTO BOMBA_____	132
	ELEMENTO VÁLVULA_____	135
	ELEMENTO INDETERMINADO_____	139
	GRUPOS DE DISEÑO INVERSO_____	140

En la zona inferior izquierda de la ventana de *GESTAR* se encuentra la especificación de las coordenadas *X* e *Y* del punto de la red en el que se encuentra el puntero del ratón en cada instante respecto al origen.

Los nodos, una vez activos, se colocarán en el *Mapa* pulsando con el ratón sobre el lugar que corresponda de éste.

Para situar un elemento en el mapa deberán estar definidos previamente sus nodos extremos. El elemento se creará, una vez activo, pulsando con el ratón sobre el nodo inicial para, a continuación, pulsar sobre el nodo final. Si el nodo final coincide con el inicial se cancela la creación del elemento.

La opción *Señalar números nodos y elementos* del menú *Ver*, que está activada por defecto, provoca la aparición de una pequeña etiqueta en la ventana gráfica de GESTAR cuando el puntero del ratón pasa por encima de un nodo o elemento. En esta etiqueta se muestra el identificador del nodo o elemento en cuestión.

Durante la creación de elementos el cursor se transforma en una cruz que facilita la identificación del nodo sobre el que se pulsa y una línea elástica une el nodo inicial con el cursor. Mientras no se concluya la creación del elemento, o se cancele su creación, esta línea permanecerá acompañando el cursor. Si desactiva el botón de creación del elemento, o activa otra opción, antes de concluir la creación de un elemento, la creación del elemento quedará cancelada. En el caso de los *Elementos Conducción* (tuberías) se admiten polilíneas, cuyos vértices se generan consecutivamente ante cada pulsación del ratón, hasta pulsar sobre el nodo final.

Dependiendo del tipo de nodo o de elemento colocado, sobre el mapa aparecerá una ventana de diálogo en la que se pedirán los parámetros necesarios requeridos en la definición de éstos. Esta misma ventana podrá ser consultada en cualquier momento con objeto de verificar o modificar los datos simplemente haciendo un doble "clic" con el ratón en el nodo o elemento deseado.

Los parámetros de todos los datos que se introduzcan tendrán las unidades del *Sistema Internacional* (salvo que, excepcionalmente, se especifique lo contrario). Podrán ser escritos también en notación exponencial o científica, usando indistintamente coma o punto como separador de decimales. No se admitirán valores numéricamente no válidos, así como ilógicos (longitudes de conducciones o rugosidades negativas, etc.). Se admiten etiquetas alfanuméricas en nodos y elementos. Se pueden utilizar los procedimientos abreviados de teclado de *Windows* para cortar, copiar y pegar texto (*CTRL+X*, *CTRL+C* y *CTRL+V* respectivamente) entre las distintas casillas de cada ventana. de definición de nodo y elemento, así como el tabulador para moverse entre los campos. Además existe la posibilidad de desplazar, cortar, copiar y pegar grupos de nodos y de elementos seleccionados.

4.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS ICONOS.

FILA SUPERIOR:



NUEVA RED (CTRL + N)

Permite crear una red en la ventana gráfica de *GESTAR* utilizando las herramientas proporcionadas por esta aplicación. Previamente aparecerá un cuadro de diálogo (FIGURA 4. 2) en el que deberán ser definidas las dimensiones del área de trabajo, así como el porcentaje de este área visible inicialmente en la ventana gráfica. Este porcentaje, así como las dimensiones del área de trabajo y el origen de coordenadas, pueden ser modificados posteriormente llamando a la opción *Ver/ Escala* de la barra de menús (pág. 153). A los valores de X e Y dados en esta ventana se le añade automáticamente un 15% de distancia en dirección X e Y como margen adicional para enmarcar la zona de trabajo, margen que es accesible para la creación de la red. Conviene definir valores de X e Y escalados a las dimensiones de la pantalla para mantener las proporciones geométricas de la red y evitar distorsiones en su apariencia gráfica.

El procedimiento de creación de una red se encuentra descrito en el Capítulo 6 (pág. 179).

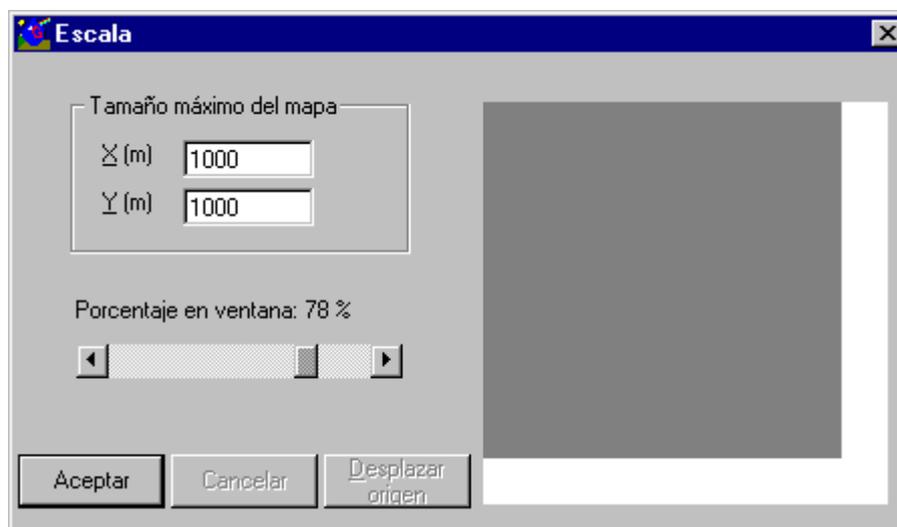


FIGURA 4. 2 Escala.



ABRIR RED (CTRL + O)

Sirve para introducir en la ventana gráfica una red previamente guardada con la opción *Guardar Red*. Una vez introducida la red, ésta puede ser analizada y modificada con las herramientas de *GESTAR*.

Los ficheros que contienen la topología constructiva de las redes de *GESTAR* se denominan *Ficheros de Red* y su extensión es “.red”.



GUARDAR RED (CTRL + S)

Al pulsar en este icono, la red que aparece en la ventana gráfica actual será guardada directamente con el nombre y la ubicación previos. En el caso de tratarse de una red nueva, deberán especificarse ambas características del fichero en el cuadro de diálogo que aparecerá.

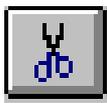
Los ficheros que contienen las redes de *GESTAR* se denominan *Ficheros de Red* y su extensión es “.red”.



IMPRIMIR

Imprime el contenido actual de la ventana gráfica. En el caso de no existir ventana gráfica, no realizará impresión alguna.

Para la impresión de los resultados de un cierto escenario, deberá utilizarse el botón *Imprimir* de la ventana *Resultados* (pág. 171).



CORTAR (CTRL + X)

Tras establecer una selección con el botón *Selección Rectangular* (ver pág. 97), este botón borra dicha selección, de manera que podrá ser pegada posteriormente con la opción *Pegar*.

La combinación de teclas CTRL+X también permite cortar cadenas alfanuméricas (cadenas que contienen letras y/o números) en las casillas de las ventanas de diálogo, previa selección de la cadena correspondiente.



COPIAR (CTRL + C)

Tras establecer una selección con el botón *Selección Rectangular* (pág. 97), este botón copia dicha selección, de manera que podrá ser pegada posteriormente con la opción *Pegar*.

La combinación de teclas CTRL+C también permite copiar cadenas alfanuméricas en las casillas de las ventanas de diálogo, previa selección de la cadena correspondiente.

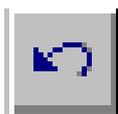


PEGAR (CTRL + V)

Una vez copiada o cortada una *Selección Rectangular* (ver pág. 97), esta opción ofrece la posibilidad de pegarla en la ventana gráfica. El pegado se realizará en la esquina superior izquierda de la ventana gráfica, siendo posible arrastrar la parte pegada pulsando el ratón sobre ella y manteniéndolo pulsado hasta situarla en la ubicación deseada.

Al pegar un grupo de nodos y elementos, los nuevos nodos o elementos adquirirán automáticamente un identificativo por defecto, al cual se le podrán anteponer dos caracteres mediante un formulario que se mostrará para tal fin.

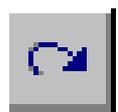
De igual modo que en las dos opciones anteriores, la combinación de teclas CTRL+ V también pega cadenas alfanuméricas previamente cortadas o copiadas en las casillas de las ventanas de diálogo.



DESHACER

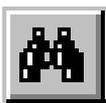
Este botón deshace la última acción que se haya realizado en *GESTAR*. Solamente se permite deshacer una acción.

Todas las acciones significativas del usuario pueden ser deshechas. Al pasar el puntero del ratón por encima de este botón, aparece una etiqueta que informa de la última acción realizada.



REHACER

La herramienta Rehacer se activa tras deshacer una acción y permite volver a la situación previa a la utilización de la herramienta *Deshacer*.



BUSCAR NODO/ELEMENTO (CTRL + F)

Al pulsar este botón aparecerá una ventana (FIGURA 4. 3) en la que se pide el identificador del nodo o elemento que se desea encontrar, teniendo como opciones mostrar la ventana de edición de sus datos o señalarlo en el mapa mediante un círculo.



FIGURA 4. 3 Búsqueda.

Tras seleccionar *Nodo* o *Elemento* en esta ventana, se debe introducir en la casilla contigua el identificador correspondiente.

Si se selecciona la casilla *Señalar en Mapa*, y tras pulsar en *Buscar*, en la ventana gráfica aparecerá un círculo blanco que indica la ubicación del nodo o elemento seleccionado. La casilla *Mostrar Datos* permite visualizar la ventana de definición del nodo o elemento.



AUMENTAR

Con esta herramienta se podrá realizar un “zoom” en ventana de cualquier zona del mapa, determinando con el ratón el rectángulo que se desea ver ampliado. Para ello, basta pulsar en una esquina del rectángulo deseado y arrastrar hasta la esquina opuesta, donde se soltará el botón del ratón. El rectángulo marcado irá quedando en color inverso conforme se arrastra el ratón, y el ancho y alto del rectángulo se mostrarán en la parte inferior izquierda de la pantalla. **Como máximo, se puede ampliar hasta el 1% del tamaño total (en escala) del mapa.**



DISMINUIR

Cada vez que se pulsa este botón se divide por dos (en escala) la visión de la red (por lo tanto, se multiplica por cuatro la zona visible), quedando como único punto fijo la esquina superior izquierda de la ventana.



DIMENSIONADO DE LA RED

Esta herramienta sirve para el dimensionado de redes de riego **estrictamente ramificadas**. Es equivalente al comando *Dimensionar Red* del menú *Fichero* de *GESTAR*.

GESTAR facilita el dimensionado de redes estrictamente ramificada, es decir una red sin mallas con un único punto de altura piezométrica conocida (punto de alimentación), a través de dos programas distintos: *DIOPRAM* y *DIOPCAL*:

DIOPRAM: Programa independiente que opera bajo *MS-DOS* que realiza el dimensionado óptimo de redes estrictamente ramificadas mediante los métodos de la Serie Económica y Programación Lineal. *GESTAR* se limita a crear el fichero de entrada a *DIOPRAM* volcando la información necesaria adquirida del entorno gráfico y operativo de *GESTAR* y a leer el correspondiente fichero de salida de resultados de *DIOPRAM* integrándolos automáticamente en el entorno *GESTAR*. El usuario que desee dimensionar redes con la versión completa del programa *DIOPRAM* debe adquirirlo, pues es un programa que opera con licencia. *DIOPRAM* fue desarrollado en la *Unidad Docente de Mecánica de Fluidos, Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Politécnica de Valencia*.

DIOPCAL: El programa *DIOPCAL* realiza el dimensionado óptimo de redes estrictamente ramificadas mediante el método de la Serie Económica. Se encuentra integrado dentro de *GESTAR*, por lo que el usuario puede dimensionar una red con el método citado sin necesidad de recurrir a programas externos. *DIOPCAL* ha sido desarrollado en el *Grupo de Investigación y Desarrollo de Modelos Hidráulicos (IDMH)* del *Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Politécnica de Valencia* dentro del proyecto coordinado del *Plan Nacional de I+D, HID98 -0341-C03-01*.

Se describe a continuación el proceso de dimensionado de redes a través de *DIOPCAL*. El dimensionado mediante *DIOPRAM* se describe en el Capítulo 5, Comunicación Externa.

El procedimiento general a seguir para dimensionar una red pasa por diversas etapas:

- **Etapas 1. Generación de topología y demandas.** Se debe generar en *GESTAR* la red estrictamente ramificada que se desee dimensionar, junto con los datos referentes a las demandas en los nodos o los caudales de línea.
- **Etapas 2. Introducción de datos adicionales necesarios para el dimensionado.** Una vez definida la red que se desea dimensionar, se debe activar la herramienta Dimensionar Red, con lo que comenzará un proceso de introducción de datos adicionales en las diversas ventanas que *GESTAR* muestra.
- **Etapas 3. Dimensionado.** Una vez introducida la red y todos los datos adicionales, *GESTAR* crea un fichero de texto que recoge todos los datos

necesarios para el dimensionado, según la sintaxis requerida por el módulo *DIOPCAL* y explicada en el manual específico de *DIOPCAL*. Tras crear este fichero, *GESTAR* pregunta al usuario si desea proceder al predimensionado, en cuyo caso éste se realiza internamente, generándose un fichero de texto con los resultados obtenidos.

- **Etapa 4. Importación de resultados del dimensionado.** Los resultados procedentes del dimensionado son incorporados a la red inicial, con lo que se posibilita el análisis del dimensionado.

ETAPA 1: Generación de topología y demandas.

La explotación de *DIOPCAL* deberá comenzar construyendo la topología de la red respetando las siguientes restricciones de *DIOPCAL*:

- El nudo de cabecera llevará siempre el identificativo de nudo cero y no podrá nunca salir más de una línea de él.
- La forma de identificar un nudo (excepto el de cabecera, que siempre será 0), será asignando un número natural de 3 cifras. No se admiten números negativos ni mayores de 999.
- En cada línea (Elemento Conducción o Bomba) se indica el nudo aguas arriba y el nudo aguas abajo SEGÚN EL SENTIDO DE CIRCULACIÓN DEL AGUA. No puede haber dos líneas con el mismo nudo aguas abajo.

Además, la topología y las demandas se cargarán combinado exclusivamente los siguientes tipos de nodos o elementos:

- ◆ *Nodos de Consumo Conocido*: equivalen a los puntos de demanda de *DIOPCAL*. El valor del consumo que se comunica a *DIOPCAL* corresponde a la casilla de demanda instantánea y la cota es la que se especifica en la casilla correspondiente. En el caso de que el cálculo de los caudales de diseño vaya a efectuarse mediante el método de Clément, es imprescindible introducir valores de Superficie Regada en la casilla correspondiente de cada nodo ya que estos se transmiten a *DIOPCAL*. No así sucede en los valores de caudal ficticio continuo y rendimiento de cada nodo, valores que para *DIOPCAL* se adjudican posteriormente, de forma global, en una ventana de diálogo que aparece en la segunda etapa del proceso de intercambio. Todos los Nodos de Consumo Conocido deberán encontrarse abiertos en el momento de comenzar la transferencia a *DIOPCAL*, de lo contrario se tomarán como nodos de consumo nulo.
- ◆ *Nodos de Unión*: Serán tomados como nodos de demanda nula, de los que se transfiere la cota y un caudal nulo.
- ◆ *Nodo de Presión Regulada o Nodo Embalse*: podrá situarse sólo en cabecera para indicar el único punto de alimentación con la cota de la superficie libre conocida. La altura de presión que se especifique no se transmitirá a *DIOPCAL*.

- ◆ *Elemento Conducción*: la longitud que figure en la casilla correspondiente será la transmitida. En general, el diámetro de la conducción será un valor no nulo arbitrario, ya que *DIOPCAL* definirá ese diámetro en el transcurso de la optimización. No obstante, *DIOPCAL* no dimensionará las conducciones que el usuario especifique en la ETAPA 2, tal y como se describirá más adelante, de modo que se mantendrán los parámetros iniciales de tales conducciones. **ATENCIÓN**: En la casilla Comentario del Elemento Conducción deberá especificarse el caudal de diseño de la línea (m³/s) en caso de que se desee trabajar con la opción de dimensionado de *DIOPCAL* que asigna a las líneas caudales de diseño especificados directamente por el usuario. Ninguna otra información que sea cargada en las conducciones será transmitida a *DIOPCAL*, por lo que en esta fase, los aspectos relativos a pérdidas singulares, válvulas, etc., pueden obviarse. Asimismo se ignoran las selecciones de material, timbraje, diámetro, rugosidad que se asignen, que de hecho serán evaluadas por *DIOPCAL* y sobrescritas en la fase de importación de resultados, con la excepción hecha de previamente. Los identificativos de los elementos, al contrario de lo que sucede con los de los nodos, pueden ser arbitrarios puesto que *DIOPCAL* los asigna en función de los identificativos del nodo final del elemento. *GESTAR* utilizará como base de datos de materiales la denominada Tuberías.mdb, en formato Microsoft Access 97, que se instala junto con el programa. Durante la ETAPA 2 se pedirá al usuario que seleccione los materiales a partir de los existentes en esa base de datos. Por ello, **si el usuario desea introducir nuevos datos de materiales, debe editar la base de datos Tuberías.mdb y modificar su contenido (nunca su estructura). Para este particular sólo es necesario modificar las tablas Material, Timbrajes y Tub_Comerc de Tuberías.mdb, o bien crear una nueva base de datos con idéntica estructura.** Si desea modificar la base de datos de materiales, lea detenidamente el *Anexo V* (pág.271) de este manual.
- ◆ *Elemento Bomba*: Cuando la altura de cabecera sea una variable a calcular mediante *DIOPCAL* (se optimiza el bombeo) es imprescindible indicarlo trazando un Elemento Bomba como conducción de cabecera.

ETAPA 2: Introducción de datos adicionales necesarios para el dimensionado.

Completada la etapa anterior, se debe activar la herramienta Dimensionar Red. Al hacerlo, se muestra una primera ventana (FIGURA 2.3) donde el usuario debe elegir el programa de dimensionado que desea aplicar. Seleccionando la segunda opción de la ventana, comienza un proceso que culminará con el predimensionado de la red.



FIGURA 2. 3 Ventana de elección de la herramienta para el dimensionado óptimo.

En la (FIGURA 2. 4) se permite ver las limitaciones de *DIOPCAL*; (botón *Ver Limitacione*) y una descripción del objetivo del programa (botón *Ver Objetivo*)

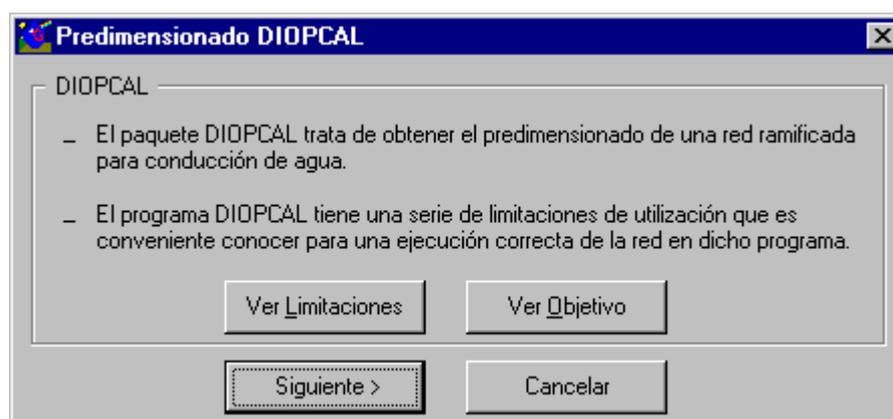


FIGURA 2. 4 Ventana de información sobre el proceso.

Pulsando el botón *Siguiete*, se dará paso a la ventana de la FIGURA 2.5, donde se especificará un título identificativo del dimensionado, el nombre y la ruta del fichero de texto de entrada a *DIOPCAL* que se creará, y la ruta de la base de datos de materiales, que deberá ser el fichero *Tuberías.mdb* (que se instala con *GESTAR*), u otra base de datos con idéntica estructura. Si se desea “personalizar” esta base de datos, consúltese el *Anexo V* de este manual (pág. 271).

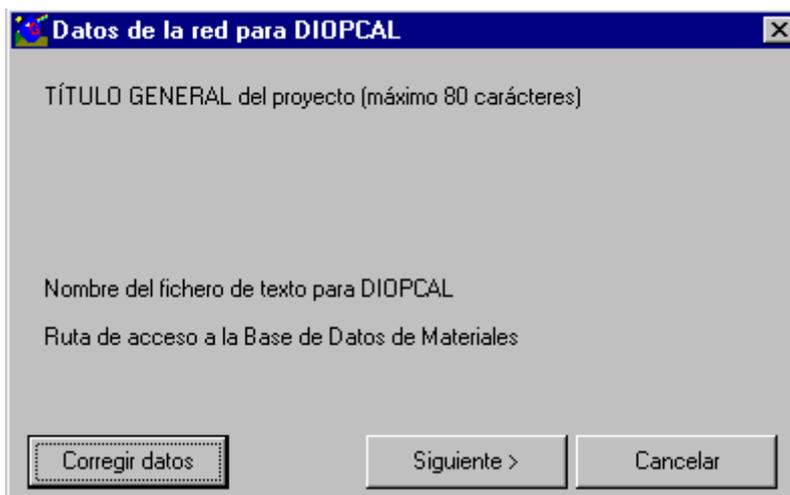


FIGURA 2. 5 Datos de la red para DIOPCAL.

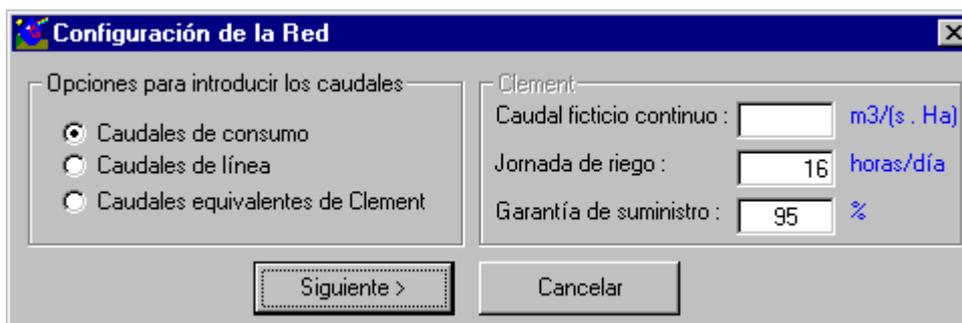


FIGURA 2. 6 Datos de la configuración de la red.

En la ventana Configuración de la Red (FIGURA 2.6), se especifica el método de determinación de las demandas de la red, disponiéndose de tres opciones:

- Caudales de consumo: Se tomarán los datos de consumo introducidos previamente en la ETAPA 1, en las casillas de demanda de los nodos de consumo de la red.
- Caudales de línea: Se considerarán como caudales de diseño los valores de caudal de línea introducidos en la ETAPA 1 en la casilla *Comentario* de las conducciones de la red. Al activar esta opción, un mensaje informará de este particular.
- Caudales de Clément: *DIOPCAL* calculará los caudales de diseño mediante el método de Clément. Al seleccionar la opción, se activarán las casillas correspondientes al caudal ficticio continuo, la duración de la jornada de riego y

la garantía de suministro, que puede ser global o selectiva. En este último caso, Garantía de Suministro Selectiva, se mostrará una ventana donde se especificará la garantía de suministro en función del número de hidrantes aguas debajo de las conducciones (FIGURA 2. 7)

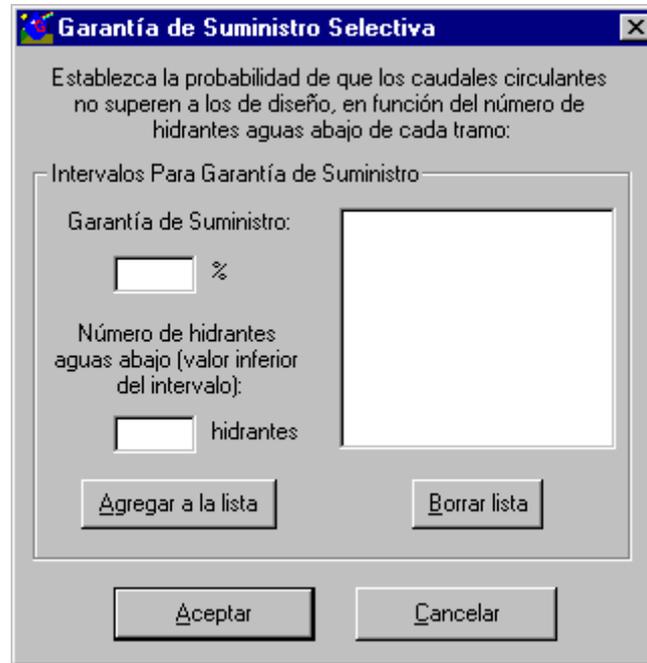


FIGURA 2. 7 Garantía de Suministro Selectiva

FIGURA 2. 8 Criterios de diseño.

Tras pulsar el botón *Siguiete* de la FIGURA 2. 6, el programa realiza un chequeo de la red, comprobando si la red es ramificada, los identificativos de los nodos son los correctos... pasando si corresponde al cuadro de diálogo *Criterios de Diseño* (FIGURA 2.8) donde se debe especificar los datos correspondiente a la cabecera de la red; el grado de seguridad para los timbrajes (metros de columna de agua con que se incrementa la presión estática calculada); la presión mínima para realizar la optimización (se dispone de tres opciones excluyentes entre sí: presión mínima en todos los nodos de consumo, opción no disponible si se ha elegido la optimización mediante caudales de línea, presión mínima en todos los nudos extremos o presión mínima en todos los nudos); y la opción introducir valores de presión mínima a tener en determinados nudos, que no es excluyente con las anteriores) y los límites para la velocidad de circulación del fluido en los conductos. También se introducirá el coeficiente aplicable a las pérdidas de carga correspondiente a la existencia de pérdidas menores.

Los datos correspondientes a presiones y cotas de cabecera varían en función del tipo de red a dimensionar, tal como se detalla en el cuadro siguiente:

ENTRADA DE DATOS DE CABECERA PARA EL DIMENSIONADO DIOPCAL DE REDES EN GESTAR.

1. Red sin Elemento Bomba en cabecera (alimentación por gravedad).
La presión de cabecera es dato. Viene dada por la altura del nodo de cabecera.
2. Red con Elemento Bomba en cabecera.
(Se habilitan los cuadros de Estación de Bombeo y de Discriminación Horaria de Bombeo)
Se permite elegir si hay Inyección Directa o no
 - 2.1 Sin Inyección Directa (bombeo a depósito)
 - Cota de Depósito (opcional)
 - Cota de Aspiración
 - Pérdida en Impulsión (opcional)
 - 2.2 Con Inyección Directa (bombeo directo a la red)
 - Cota de Aspiración
 - Cota de Cabecera
 - Presión de Cabecera (opcional)

En el caso de que la red tenga un *Elemento Bomba* en cabecera, se interpreta que la red se alimenta mediante bombeo y se activan los cuadros de la ventana referentes a la *Estación de Bombeo* (rendimiento y coseno de phi de la instalación) y a la *Discriminación Horaria del Bombeo* (horas anuales y caudales medios, en m³/s, de bombeo en cada periodo tarifario).

FIGURA 2. 9 Datos Económicos.

En la FIGURA 2. 9 se solicitan diversos datos económicos. Si la alimentación de la red se produce por gravedad, solamente se introducirán el periodo de amortización de la instalación (en años) y la tasa de interés anual aplicable (en tanto por ciento).

Si existe bombeo, se pedirán además el tipo de tarifa eléctrica aplicable (pudiendo personalizarse), el incremento anual del coste energético y la clase de discriminación horaria del precio base. Esta última opción es también personalizable

(valores positivos corresponden a porcentaje de recargo, mientras que valores negativos corresponden a porcentaje de bonificación).

Materiales DIOPRAM

Materiales DIOPRAM

- PVC (TRAGSA 2000.J. goma, sin dif.)
- HORMIGÓN C. CH. ACERO (TRAGSA 2000)
- FIBROCEMENTO (TRAGSA 2000)

Intervalos de definición del PVC

Dia. mín. = 9,35999984741211E- m

Dia. máx. = 0,384239990234375 m

Pres. timbraje mín. = 0 mca

Pres. timbraje max. = 160 mca

Restablecer Materiales Aceptar Cancelar

FIGURA 2. 10 Materiales.

Tras la introducción de los datos económicos, *GESTAR* lee la base de datos de materiales que se le ha indicado con anterioridad y muestra su contenido en la ventana que se muestra en la FIGURA 2. 10. El usuario debe seleccionar los materiales que desee que intervengan en el dimensionado y los intervalos de diámetros y timbrajes válidos (se ofrecen por defecto los intervalos que incluyen a todas las conducciones presentes en la base de datos para un determinado material).

Otros Datos para Diopcal

Pulse sobre el botón correspondiente para establecer otros datos para Diopcal:

- Determinar Tuberías Instaladas
- Forzar rugosidades en tuberías
- Establecer longitudes equivalentes en tuberías
- Hidrantes múltiples agrupados

Siguiente > Cancelar

FIGURA 2. 11 Otros datos para Diopcal

La última ventana que se muestra en esta ETAPA 2 (FIGURA 2. 11) dispone de cuatro opciones:

- **Determinar Tuberías Instaladas.** Se ofrece la posibilidad de establecer un grupo de conducciones que no son susceptibles de dimensionarse, debido por ejemplo a que son conducciones que ya están instaladas o por cualquier otro motivo. Estas conducciones no serán modificadas por el dimensionado, manteniendo, por tanto, sus parámetros previos al dimensionado.
- **Forzar rugosidades en tuberías.** De manera similar al caso anterior, se permite establecer un grupo de conducciones cuya rugosidad no será modificada por el dimensionado, aunque sí su diámetro y timbraje.
- **Establecer longitudes equivalentes en tuberías.** Permite establecer en cada tramo de la red una longitud equivalente, para simular por ejemplo la existencia de pérdidas singulares específicas.
- **Hidrantes múltiples agrupados.** Esta cuarta opción solamente se activa en el caso de que los caudales de diseño se establezcan mediante el método de Clément y posibilita que un nodo de la red represente a una subred, es decir, a conjunto de nodos situados aguas debajo de éste. Su consumo se considerará la suma de todos los consumos de los nodos representados. Se deberá especificar al activar esta opción el número de nodos agrupados y la varianza del caudal consumido aguas abajo.

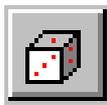
Etapa 3. Dimensionado.

Reunidos todos los datos necesarios para el dimensionado, *GESTAR* crea el fichero de texto de entrada a *DIOPCAL* en la ruta indicada en la ETAPA 2 y pregunta al usuario si desea proceder a dimensionar. En caso afirmativo, se procede internamente al predimensionado de la red.

Si se produce algún error, se informa de la creación de un fichero de error y se paraliza el proceso. Si el dimensionado se realiza con éxito, se pregunta por una ubicación para el fichero de texto de salida de *DIOPCAL*. Tras crear el fichero, se importan los resultados del dimensionado a la red inicial

Etapa 4. Importación de resultados del dimensionado.

Tras crear el fichero de salida de *DIOPCAL*, se importan los resultados del dimensionado (diámetro interno, diámetro nominal, timbraje) a la red inicial, con lo que queda dimensionada.



SORTEO

En las redes de riego se puede encontrar habitualmente centenares de hidrantes, por tanto, si durante la fase de diseño de la instalación se desea estudiar el comportamiento de la red ante diversos estados hipotéticos con distintas condiciones de

simultaneidad, la especificación uno a uno de los hidrantes abiertos por parte del proyectista resultará una tarea sumamente tediosa, especialmente si se desea conocer el comportamiento del sistema ante múltiples escenarios y combinaciones de la demanda. La posibilidad de que el programa genere internamente escenarios que respeten ciertos condicionamientos globales resulta sumamente interesante ya que esta utilidad facilitará la generación ágil de escenarios en condiciones de explotación diversas. Al pulsar el botón *Sorteo* aparecerá una ventana (FIGURA 4. 4) en la que se podrá establecer condiciones para generar dichos escenarios automáticamente.

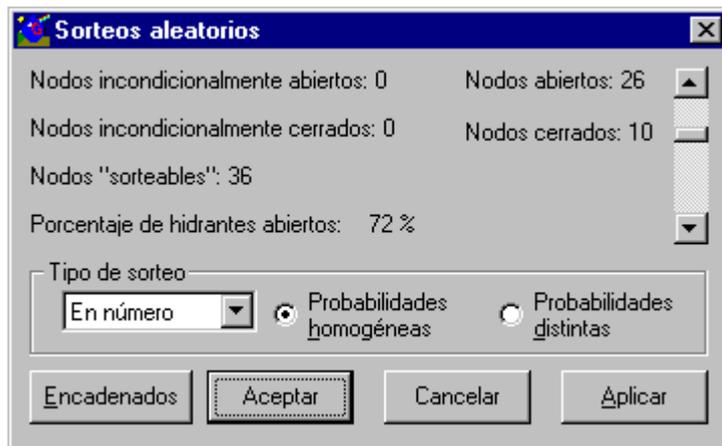


FIGURA 4. 4 Sorteos.

Inicialmente el usuario establece mediante la barra de "scroll" el porcentaje de hidrantes activos que desea que queden abiertos respecto al número total de hidrantes en la red. Cada vez que se aplica un porcentaje, (botón *Aplicar* de la Ventana de Sorteo) se visualizan los hidrantes abiertos/cerrados que ha generado *GESTAR* y se actualiza el porcentaje resultante de la rutina de sorteo. Los hidrantes desactivados mediante el botón *Restricciones de Sorteos* (pág. 99) no cambiarán de estado por la acción del sorteo.

Si el usuario no está satisfecho con la distribución y/o el porcentaje obtenido, puede volver a aplicar de nuevo el porcentaje consignado hasta que lo desee. Para validar la distribución alcanzada se pulsará el botón *Aceptar*. Debido al procedimiento de sorteo interno de *GESTAR*, en los casos de redes con muy pocos hidrantes activos pueden aparecer ligeras desviaciones en los resultados obtenidos frente a los consignados.

En el apartado *Tipo de Sorteo*, aparece por defecto la opción *En Número*: *GESTAR* abrirá aleatoriamente nodos de tipo *Nodo de Consumo Conocido* y *Nodo Hidrante Regulador* hasta un número tal que, respecto al total de hidrantes instalados, se alcance el porcentaje que aparece seleccionando en la barra de "scroll". Si se activa opción *En Caudal*, *GESTAR* abrirá aleatoriamente nodos de tipo *Nodo de Consumo Conocido* y *Nodo Hidrante Regulador* hasta que su demanda instantánea conjunta alcance el porcentaje que se indica en la barra de "scroll", respecto a la suma de las demandas instantáneas de la totalidad de hidrantes instalados (está opción no se encuentra implementada en *GESTAR 1.2**).

Existe la posibilidad de realizar el sorteo con *Probabilidades Homogéneas* (por defecto) o con *Probabilidades Distintas* para cada hidrante, dadas en este último caso en función de la probabilidad que tiene cada hidrante "sorteable" de estar abierto. Para que la opción *Probabilidades Distintas* sea efectiva se exige que se hayan definido correctamente ciertos campos específicos en las ventanas correspondientes a todos los nodos de tipo *Nodo de Consumo Conocido* y *Nodo Hidrante Regulado* en virtud de los cuales se conoce la probabilidad de apertura de los mismos (Consultar la metodología de cómputo de la probabilidad de apertura de cada hidrante en el Anexo IV, pág. 269, y en las ventanas de definición de *Nodo de Consumo Conocido*, pág. 104, y *Nodo Hidrante Regulador*, pág. 107).

Puesto que cada sorteo genera una realización aleatoria de un universo posible de escenarios, la obtención de conclusiones sobre un determinado porcentaje de simultaneidad o sobre el comportamiento global de la red no puede hacerse en función exclusivamente de los resultados de un único escenario. Conviene analizar el resultado individual o promediado de una colección extensa de casos con objeto de obtener una visión más completa del funcionamiento de la red y una identificación de las condiciones favorables y desfavorables.

Este análisis puede ejecutarlo el usuario mediante la realización de sucesivos sorteos y el subsiguiente cálculo, recordando ante los nuevos escenarios el comportamiento de los anteriores casos, o bien puede dejar en manos de *GESTAR* la generación y análisis automático de múltiples escenarios, mediante la opción *Sorteos Encadenados*.

Para acceder a la opción *Sorteos Encadenados*, pulse el botón correspondiente de la ventana de sorteos (FIGURA 4. 4). Si se selecciona esta opción aparecerá una nueva ventana (FIGURA 4. 5).



FIGURA 4. 5 Sorteos Encadenados.

En esta ventana se permite establecer el número de escenarios aleatorios que se generarán y calcularán automáticamente uno tras de otro, con el porcentaje de hidrantes (*Nodos de Consumo Conocido* y *Nodos Hidrantes Reguladores*) o de consumo impuesto (según el estado de la casilla *Tipo de Sorteo Número* y *Porcentaje*). Cada vez que se introduzca un par Número-Porcentaje, se deberá pulsar el botón *Añadir* para que pasen a

formar parte de la lista de sorteos encadenados. Para borrar un par de valores de esta lista, habrá que seleccionarlos pulsando sobre ellos con el ratón y a continuación hacer "clic" sobre el botón *Eliminar*.

Otro modo de introducir una lista es abrir un *Fichero de sorteo* (extensión ".srt") mediante el botón . Estos ficheros habrán sido guardados previamente con el botón .

El botón  permite configurar los rangos aceptables para un determinado número de variables (información sobre alarmas en pág. 172).

Una vez establecida una lista de sorteos encadenados y configuradas las alarmas, el botón *Aceptar* procederá a generar tantos escenarios aleatorios como se hayan especificado con el porcentaje de simultaneidad fijado para cada uno de ellos. Conforme los escenarios se generan se realiza la simulación hidráulica correspondiente y sus resultados se filtran con las alarmas impuestas. Además, si se realiza esta operación con la opción *Recalcular* seleccionada, en cada sorteo a partir del primero se inicializará el cálculo de la solución del nuevo sorteo con los resultados del cálculo anterior. Esto nos hará ahorrar bastante tiempo, ya que gran parte de los cálculos de los escenarios ya estarán realizados y el programa los guarda para posteriores operaciones.

Cuando los resultados de un escenario provocan el disparo de una alarma, el caso se denomina **escenario crítico**, pudiéndose guardar dichos resultados (ver pág. **¡Error! Marcador no definido.**) para su posterior consulta a través de la ventana *Casos críticos* (FIGURA 4. 6). Si el escenario no provoca la aparición de alarma alguna, se denomina **escenario válido**, y los resultados pasarán a promediarse con el resto de escenarios válidos, para mostrarse en valores máximos, mínimos y medios al final de la secuencia. Cuando la secuencia de escenarios termina de generarse, calcularse y filtrarse con los rangos de alarmas, se informará en la misma ventana del número de pases calculados (total de situaciones propuestas por el usuario), del número de éxitos (número de escenarios válidos en los que las variables han quedado dentro de los rangos definidos en la configuración de las alarmas) y del número de errores de cálculo que, en su caso, se hayan producido.

En el caso de que todos los escenarios sean válidos, los valores máximos, mínimos y promediados de las variables se podrán mostrar de forma numérica, en tablas, y de forma gráfica, en el mapa de la red. Para ver los valores numéricos iremos a la ventana *Resultados* (botón ) y desde la de *Código de colores* (botón ) , elegiremos los que queremos ver en las casillas Máx., Mín. y Med., respectivamente. El rango de colores se irá mostrando a la vez que vamos eligiendo estos valores.

Si ha habido escenarios críticos provocados por la configuración de las alarmas (ver pág. **¡Error! Marcador no definido.**) y además se ha activado la casilla de verificación *Guardar Escenarios Críticos* de la ventana *Alarmas*, aparecerá otra ventana flotante, *Casos Críticos* (FIGURA 4. 6). En esta ventana se nos ofrece los datos de la primera variable que ha hecho saltar la alarma, para ver todos hay que ir a la ventana *Alarmas*, y desplegar el *Informe*.

En esta ventana tenemos varias formas de visualizar los casos críticos generados. Una es viendo los resultados sobre el mapa gráfico, por código de colores y con los resultados numéricos sobre el dibujo, y otra es ver los resultados numéricos en la ventana *Resultados* (botón , pág. 91), que se explicará más adelante. El paso de un escenario a otro, bien sea para ver el *mapa gráfico* o la ventana *Resultados*, se puede hacer de dos maneras diferentes. En la parte superior derecha (botones ) tenemos unos cursores para la visualización de todos los casos, uno por uno, presionando manualmente a los botones cada vez que queramos pasar al siguiente o al anterior, estando la posibilidad también de ir al último o al primero directamente (botones de los extremos). Por otro lado, tenemos la opción *video* (botones ) , la cual nos ofrece la oportunidad de ver la secuencia completa seguida de todos los casos, con las opciones de *pausa o parada* en mitad de la evolución.



FIGURA 4. 6 Ventana de selección de escenarios críticos.

Si accedemos a la ventana de *Alarmas* (botón ) , tenemos la posibilidad mediante el botón *Informe* de acceder al informe de alarmas correspondiente al escenario crítico visualizado (ver pág. **¡Error! Marcador no definido.**). Asimismo, en el esquema de la red se destacarán los nodos y elementos que han desbordado las alarmas establecidas en la ventana de *Configuración de Alarmas*. La información detallada sobre la interpretación de la salida gráfica se encuentra recogida en el *Capítulo 6* (pág. 179).

!!!ATENCIÓN!!!. Los botones primero y tercero (*Guardar fichero* y *Gráficos*), no son operativos en ningún caso.

Cabe la posibilidad de tener en un mismo cálculo escenarios válidos y críticos, en este caso se visualizará una pequeña ventana desde la cual podremos cambiar de unos casos a otros, botón  para los casos válidos y botón  para los críticos, procediéndose en cada caso como ya se ha descrito en los párrafos anteriores.



EVOLUCIÓN TEMPORAL

Esta herramienta permite configurar análisis de red a lo largo de una secuencia temporal en que en cada instante la red se encuentra en estado cuasi-estacionario. Esta metodología, que se denomina en la literatura, *Análisis en Periodo Extendido*, supone que las condiciones de consumo y de operación de los dispositivos de bombeo y control se mantienen inalteradas en un cierto intervalo temporal, y que la variación de nivel en los depósitos, en dicho intervalo, tiene lugar de forma lineal. El cambio de condiciones de un intervalo a otro se efectúa despreciando los efectos del transitorio. En consecuencia, el sistema pasa consecutivamente por una sucesión de estados estacionarios, en que los instantes anteriores influyen en el actual exclusivamente a través de los proceso de carga/descarga de los puntos de acumulación temporal de la red. En la evolución temporal se resuelven secuencialmente un conjunto de escenarios deterministas, donde cada escenario que se calcula difiere de los demás en el estado de apertura de los hidrantes y de operación de los grupos de bombeo (especificados por el usuario) y en el nivel de fluido en los puntos de acumulación susceptibles de cambiar de nivel, *Nodo Balsa*, calculado por el programa. El nivel en los *Nodos Balsa* lo suministra el módulo de cálculo en función del consumo y nivel en el intervalo anterior, y de las características constructivas del depósito balsa.

Al activar el botón *Evolución Temporal* se despliega la ventana mostrada en la FIGURA 4. 7.



FIGURA 4. 7 Ventana de Configuración de la Evolución Temporal.

En esta ventana se determinará en primer lugar el intervalo de los escenarios a resolver y el tiempo total de la simulación mediante dos procedimientos alternativos:

- ◆ **Tiempo total de la simulación.** Especificando este valor en las casillas contiguas y la amplitud de cada intervalo en la parte inferior de la ventana, queda determinado indirectamente el número total de intervalos (como máximo 168 según los valores por defecto cargados en fichero "Gestar.ini").
- ◆ **Número de intervalos.** Quedan definidos desplazando el marcador de la parte central de la ventana. El número máximo de intervalos por defecto es 168. Junto con el valor especificado como amplitud de cada intervalo, determina el tiempo total de la simulación.

Otras opciones de la ventana *Evolución Temporal* son:

- ◆ **Hora Inicial.** Se establece el origen temporal de la simulación, de modo que *GESTAR* asocia un instante temporal absoluto a cada uno de los escenarios propuestos, según la magnitud de los intervalos. Si no se rellenan estas casillas, los tiempos serán relativos
- ◆ **Alarmas.** Permite activar en cada instante de la simulación la configuración de alarmas actual, que puede ser modificada en el botón *Configurar*. Al pulsarlo se despliega la ventana *Alarmas*, cuya descripción se encuentra en la pág. 173. Si la opción *Alarmas* se encuentra desactivada los criterios de alarma de la configuración se inhiben durante la simulación temporal.
- ◆ **Avisar.** Esta opción hace que, durante los cálculos, si la opción de *Alarmas* se encuentra activada, aparezca la ventana de la FIGURA 4. 8 cada vez que en uno de los escenarios propuestos por el usuario se desbordan los rangos establecidos en la configuración de las alarmas. En el encabezado de la ventana se muestra el instante en cuestión.



FIGURA 4. 8 Aviso de alarma

Pulsando el botón *Sí*, los cálculos continúan con el siguiente escenario, mientras que pulsando el botón *No* de la FIGURA 4.8 se suspenden los cálculos, abriéndose la ventana de la FIGURA 4. 9 en el caso de que se haya resuelto algún escenario completo.

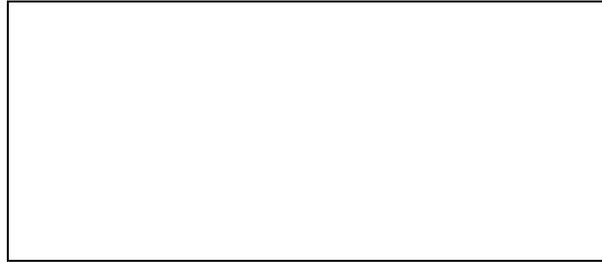


FIGURA 4. 9 Alternativas de visualización

El botón *Sí* de la FIGURA 4.9 permite visualizar la solución gráfica de los intervalos resueltos hasta el momento

Para conocer las variables y nodos/elementos que han provocado la alarma, se debe recurrir al informe de la ventana de *Configuración de Alarmas*.

- ◆ **Ignorar.** Cuando esta opción se encuentra activada, no se producirá aviso alguno cuando las alarmas sean desbordadas, pero el evento que ha ocasionado la alarma será archivado en el informe y mostrado en la posterior inspección gráfica de los resultados una vez acabado el proceso.
- ◆ **Configurar.** Permite acceder a la ventana de *Configuración de Alarmas*.
- ◆ **Patrones.** Permite especificar el estado de apertura de los hidrantes y los grupos de bombeo. Aparece la ventana de la FIGURA 4. 10 .
- ◆ **Ejecutar.** Pulsando este botón da comienzo el cálculo. Tras éste se muestra la solución gráfica de la red acompañada de una ventana de desplazamiento que permite pasar de un caso a otro (FIGURA 4. 12), además de diversas opciones que luego se explican.
- ◆ **Recalcular.** Si se realiza el cómputo de una *Evolución Temporal* con la opción *Recalcular* seleccionada, en cada paso temporal a partir del primero se inicializará el cálculo de la solución del nuevo paso temporal con los resultados del intervalo anterior.



FIGURA 4. 10 Programación de Riegos.

Al activar en la ventana de la FIGURA 4. 7 el botón *Patrones*, se despliega la tabla de la FIGURA 4. 10. En ella aparece, para cada uno de los hidrantes de la red actual (*Nodos de Consumo Conocido* y *Nodos Hidrantes Reguladores*) y *Elementos Bomba* identificados en la primera columna de la izquierda y una fila dividida en un número de casillas equivalente al de intervalos que se derivan de la ventana de configuración de la *Evolución Temporal* (FIGURA 4.7).

Si una casilla se encuentra en blanco indica que nodo o elemento asociado se encuentra cerrado o desactivado en el intervalo temporal correspondiente. Si se encuentra marcada, con una aspa o rellena de un color, el nodo abierto y la bomba en funcionamiento.

Haciendo "clic" sobre una casilla se alterna su estado de apertura/cierre (cuando la casilla está en blanco, pasa a marcada y viceversa). Si se realiza una selección de casillas arrastrando el ratón mientras se mantiene pulsado, todos los hidrantes seleccionados durante los intervalos que se van marcando cambiarán su estado. Pulsando sobre el identificativo (inicio de cada fila) o sobre un instante determinado (encabezamiento de una columna), todas las casillas de la fila o columna alternarán su estado. Al pulsar sobre la casilla superior izquierda de la tabla, todas las casillas invierten su estado. Pulsando el botón derecho del ratón sobre un identificativo aparece la lista de identificativos del resto de componentes de la tabla de programación, si se selecciona cualquiera de ellos la programación de apertura/cierre del componente seleccionado se pega sobre el actual.

En la parte superior de la ventana *Patrones de Apertura* se dispone de varias opciones:

- **Botón** . Tras solicitar confirmación de la operación, cierra todos los componentes de la tabla en todos los instantes, es decir, deja todas las casillas en blanco.
- **Botón** . Abre un *Fichero de Evolución* (extensión “.evt”), fichero donde se pueden almacenar los patrones mediante el botón *Guardar configuración*.
- **Botón** . Permite crear y almacenar un *Fichero de Evolución* (extensión “.evt”) donde se recoge el patrón actual.
- **Botón *Aceptar***. Cierra la ventana *Patrones de Apertura* tomando en consideración los cambios efectuados en ella.
- **Botón *Cancelar***. Cierra la ventana *Patrones de Apertura* sin tener en cuenta los cambios efectuados en ella.
- **Selección**. Permite elegir la forma de indicar que un hidrante está abierto en las casillas de la tabla (marca o color).
- **Tiempo**. En la parte superior derecha de la ventana, se informa de la hora inicial y del instante que corresponde a la última casilla pulsada con el ratón.
- **Consignas**. Pulsando este botón se da paso a otra ventana (FIGURA 4. 11) en la que se ofrece la posibilidad de condicionar determinadas acciones durante la evolución temporal al valor de diversas variables hidráulicas de los componentes del sistema.

En el cuadro *Acción* de la ventana se establecerá mediante los cuadros desplegables una de estas posibilidades:

- ◆ Arrancar/Parar *Elemento Bomba*.
- ◆ Abrir/Cerrar *Elemento Conducción*.
- ◆ Abrir/Cerrar *Nodo de Consumo Conocido*.
- ◆ Abrir/Cerrar *Nodo Hidrante Regulador*.

En el cuadro contiguo se establece la condición cuyo cumplimiento hara que se realice la acción establecida. Las variables que se permite utilizar en este cuadro *Condición* son:

- ◆ *Nodo Balsa*: nivel de agua.
- ◆ *Nodo de Unión*: presión.
- ◆ *Nodo de Consumo Conocido*: presión.

- ◆ *Nodo Hidrante Regulador*: presión.
- ◆ *Elemento Conducción*: caudal.

Según se van configurando la acción y la condición, en el cuadro de texto inferior se actualiza la consigna resultante. El botón *Añadir a la Lista* pasará la consigna actual a la lista de consignas. El número máximo de consignas simultáneas está establecido en 25. Este valor se puede modificar en el fichero *gestar.ini*.

El botón *Borrar* elimina la consigna de la lista que se encuentre seleccionada. El botón *Borrar Todo* elimina todas las consignas de lista.

Las listas de consignas pueden ser almacenadas y recuperadas a través de *Ficheros de Consignas* (extensión “.con”) mediante los botones *Abrir* (📁) y *Guardar* (💾) de la Barra de Herramientas de esta ventana de Consignas. El botón *Nuevo* (📄) borra la lista de consignas actual.

Una vez configurada una lista de consignas y aceptada la ventana de *Consignas*, éstas serán tenidas en cuenta durante los cálculos de la *Evolución Temporal*, de manera que cuando en un instante se cumpla alguna de las condiciones de las consignas, en el **instante inmediatamente posterior** se llevará a cabo la acción correspondiente.

FIGURA 4. 11 Órdenes en el transcurso de la evolución temporal

Cuando la tabla de la *Programación de Riegos* (FIGURA 4. 10) ha sido confeccionada, y se ejecuta la simulación temporal mediante el botón *Ejecutar*, el proceso de progresión del cálculo aparece en una ventana esquematizado por una barra de evolución. El conjunto de avisos relativos a las alarmas que se han indicado en la página 84 deberán irse aceptando hasta concluir el conjunto de intervalos o abortar la simulación. Una vez que la simulación concluye en todos los intervalos, o se aborta por parte el usuario a raíz de la aparición de alguna alarma, es posible inspeccionar los resultados de cada intervalo temporal. La ventana de la FIGURA 4. 12, ventana *Evolución temporal*, se despliega automáticamente con un cursor que permite acceder a los diversos instantes temporales.

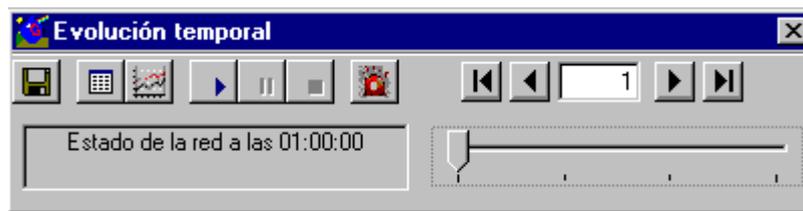


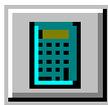
FIGURA 4. 12 Cursor de Evolución Temporal.

Para pasar de un intervalo a otro, basta con pulsar los botones contiguos a la casilla numérica (botones ) o pulsar con el ratón directamente sobre ésta e introducir el número correspondiente al intervalo que se desea visualizar, (número central). Además tenemos la opción *vídeo* para ver toda la secuencia temporal seguida, caso por caso, con las opciones de *pausa* y *parada* en cualquier momento de la evolución (botones ). En la parte inferior izquierda, se indica el momento al que corresponde el escenario que se muestra.

Además de la visualización en el mapa de cada uno de los intervalos, existen otros botones en la ventana cuya descripción se ofrece a continuación:

- **Botón** . Si han existido alarmas en el intervalo temporal, el botón *Informe* de la ventana *Alarmas* facilita un listado de las variables en nodos y elementos que han generado alarma en dicho intervalo.
- **Botón** . Muestra la ventana *Tablas para gráficos*, para desde allí realizar, para el nodo o elemento que haya sido seleccionado previamente, la visualización gráfica de la evolución temporal de una de sus variables (ver la descripción de esta ventana en pág. 93).
- **Botón** . Da paso a la ventana *Resultados*, la cual muestra los valores de las variables en nodos y elementos en cada uno de los intervalos(ver pág. 91).

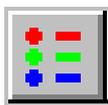
- **Botón** . El botón *Guardar* permite almacenar, en ficheros de tipo *Excel* (“.xls”) o de texto (“.txt”) todos los valores de las variables de la red en todos los intervalos de la Evolución Temporal efectuada.



CALCULAR

Una vez creado un escenario único, bien sea mediante herramientas deterministas o aleatorias, al pulsar este botón se comunican todos los datos al módulo de cálculo *NETCAL*, que procesa la información, resolviendo el problema hidráulico planteado. Una vez concluido el cálculo del escenario, los resultados se devuelven al módulo gráfico y estos se vuelcan en el esquema de la red en pantalla con las variables y código de colores especificados. Se representa para cada nodo un círculo cuyo color indicará el intervalo de valores entre los que se localiza el valor de la variable seleccionada en la ventana *Leyenda de Colores* (pág. 90) según los rangos asimismo definidos en ella. De igual modo, también los elementos aparecerán coloreados en función de los valores de la variable elegida en la ventana *Leyenda de Colores*. Son también mostrados los valores numéricos de los parámetros seleccionados en la lista de variables de nodos y elementos correspondientes a los botones *Ver Valores en Nodos* y *Ver Valores en Elementos*, pág. 95.

Según las opciones que se hayan seleccionadas en el menú *Calcular* (ver pág. 162) el proceso de cálculo se inicializará sin tener en cuenta los resultados anteriores, o bien utilizando los resultados del último cálculo.



EDITAR LEYENDA DE COLORES (CTRL + L)

Los resultados de un escenario de la red se muestran mediante un código de colores cuyos rangos pueden modificarse y almacenarse si así lo desea el usuario, al pulsar este botón aparecerá una ventana donde se podrán cambiar los rangos de valores y los colores asociados que se utilizan para representar las distintas variables en la salida gráfica. también se pueden seleccionar las variables a mostrar, tanto en nodos como en elementos. *GESTAR* establece unos rangos y colores por defecto, basados en los valores máximos y mínimos encontrados en la ejecución del caso o de la serie de casos.

Puesto que el tratamiento exhaustivo de las operaciones de entrada y salida de resultados se aborda en el Capítulo 6, los detalles de operación de la ventana se recogen en la pág. 190.



ELIMINAR RESULTADOS

Al pulsar el botón *Eliminar Resultados* se eliminan los resultados numéricos mostrados y la codificación de colores correspondiente, refrescándose la pantalla con el estado de la red en su estado de edición de escenarios previo al cálculo.

La información completa referente a la salida de resultados se encuentra recogida en el apartado 6.2 *Salida de Resultados* (pág. 189).



RESULTADOS

Tras haber calculado una red, bien sea de un escenario único o de un conjunto de ellos, el botón *Resultados* permitirá crear listados numéricos de éstos.

El tipo de tabla que aparece por defecto al pulsar el Botón *Resultados* corresponde al de la FIGURA 4. 14, que sintetiza la información completa de un escenario.

En la ventana *Resultados* de la FIGURA 4. 14 aparecen todas las variables referentes a cada nodo o elemento, tanto las introducidas como dato como las procedentes del cálculo de la red. El estado de los elementos de bombeo y regulación aparecen indicados en las posiciones correspondientes. Además de poder acceder a esta tabla después de haber calculado un escenario único, análogamente se posibilita consultar los resultados de un sorteo encadenado, en donde se reflejarán los valores medios, máximos o mínimos de las variables según la opción que se haya seleccionado en ventana *Leyenda de Colores*, (ver pág. 171). Y en el caso de que la consulta se realice en una *Evolución Temporal*, se mostrarán todos los datos en cada uno de los intervalos programados, con la posibilidad de, teniendo esta ventana abierta y seleccionando la opción video (botón ) de la ventana de la evolución temporal, poder ver de forma secuencial los datos, a la par que se van mostrando gráficamente los diversos escenarios en el mapa.

En la ventana de *Resultados* se encuentran también las siguientes opciones:

- **Botón Guardar** (). Guarda toda la información que hay en la ventana en un fichero del tipo “*.res”. El cual podremos abrir después desde el menú de *GESTAR*, en el apartado *Fichero/ Abrir Resultados*. Los resultados también se pueden almacenar en un fichero de tipo *Excel* (“.xls”) o en un fichero de texto (“.txt”).
- **Botón Imprimir** (). Permite imprimir los resultados presentes en la tabla.
- **Botón Filtro de Resultados** (). Ofrece la posibilidad de mostrar en la Tabla de Resultados solamente determinados tipos de nodos o

elementos (FIGURA 4.13). En la ventana de *Filtro Para Tabla de Resultados* se deberán marcar los componentes que se mostrarán en la *Tabla de Resultados* tras pulsar el botón *Aceptar*.

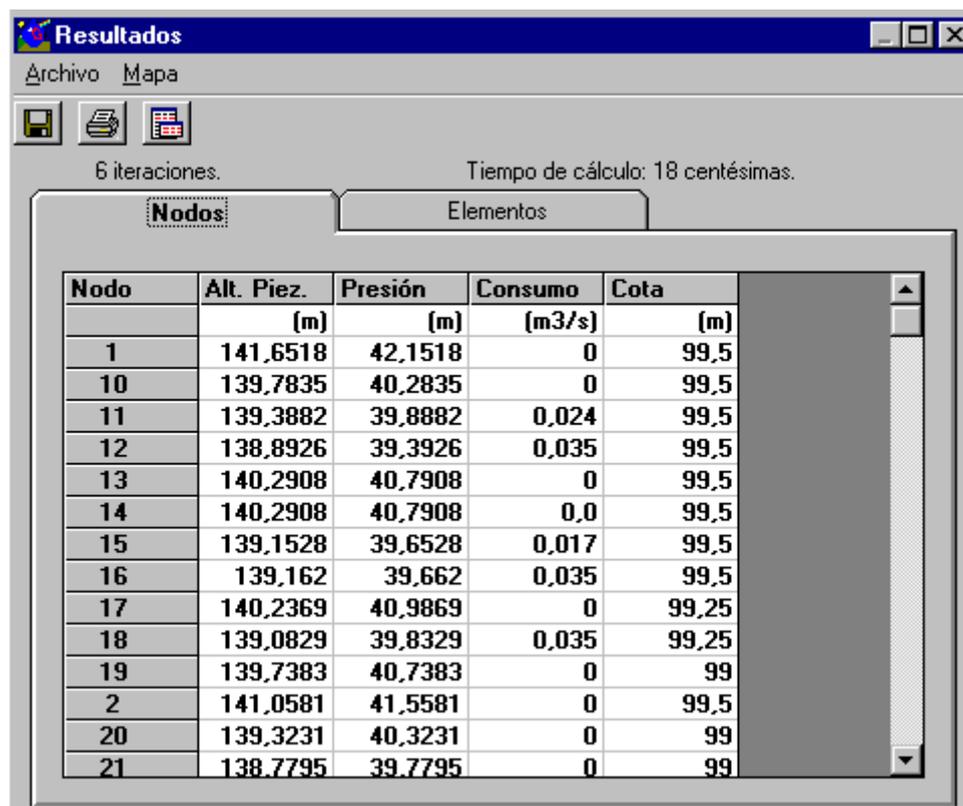


FIGURA 4. 13 Elección del tipo de resultados

- **Menú Archivo.** Los comandos del menú Archivo permiten activar las opciones *Guardar*, *Imprimir* y *Personalizar Tabla*, descritas anteriormente.
- **Menú Mapa.** El comando *Señalar* de este menú *Mapa* dibujará sobre la red un círculo blanco en el lugar donde se ubique el nodo o elemento correspondiente a la fila de la *Tabla de Resultados* que se encuentre seleccionada.

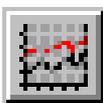
En las etiquetas que se muestran en la parte superior de la tabla de resultados se ofrece información del número de iteraciones requeridas para la convergencia del cálculo y del tiempo empleado en éste.

Una descripción completa de la estructura de la esta tabla se recoge también en el *Capítulo 6*, pág. 179.



Nodo	Alt. Piez. (m)	Presión (m)	Consumo (m3/s)	Cota (m)
1	141,6518	42,1518	0	99,5
10	139,7835	40,2835	0	99,5
11	139,3882	39,8882	0,024	99,5
12	138,8926	39,3926	0,035	99,5
13	140,2908	40,7908	0	99,5
14	140,2908	40,7908	0,0	99,5
15	139,1528	39,6528	0,017	99,5
16	139,162	39,662	0,035	99,5
17	140,2369	40,9869	0	99,25
18	139,0829	39,8329	0,035	99,25
19	139,7383	40,7383	0	99
2	141,0581	41,5581	0	99,5
20	139,3231	40,3231	0	99
21	138,7795	39,7795	0	99

FIGURA 4. 14 Listado Numérico de un escenario.



GRÁFICOS

En el caso de simulaciones temporales, podemos obtener con este botón los gráficos de evolución de las variables en el tiempo.

Si se ha realizado una simulación temporal aparece por defecto la ventana ya descrita de *Evolución temporal* FIGURA 4. 12, desde la cual podemos acceder a la acción que nos ocupa ahora, botón *Gráfico*. Esto, nos dará acceso a una nueva ventana FIGURA 4. 15, que nos va a mostrar los resultados evolucionando a lo largo del tiempo de todas las variables, de todos los nodos o de todos los elementos, según la selección que hagamos en la sección *Tipo de Tabla*. No obstante, para una información numérica completa correspondiente al intervalo temporal visualizado puede mostrarse en el formato de la FIGURA 4. 14 a través de la barra de *Menú: Resultados/ Listado Numérico* o directamente desde la ventana de evolución temporal con el botón *Resultados*  ya descrito en el apartado anterior.

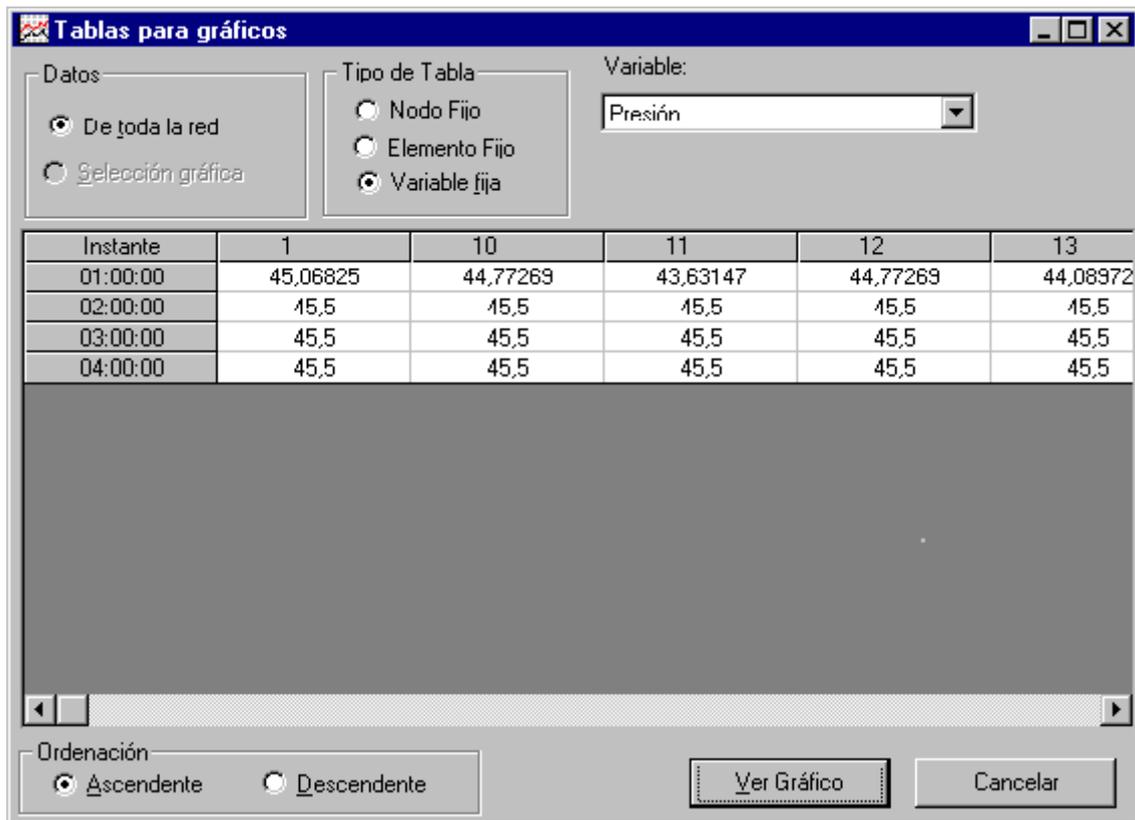


FIGURA 4. 15 Tabla de evolución temporal.

Desde las tablas de tipo temporal (FIGURA 4.15), que recogen la evolución temporal de las variables, es posible generar figuras (FIGURA 4.16) para la representación gráfica de la evolución en el tiempo de las variables hidráulicas. Existen diversas opciones para seleccionar los nodos, elementos y variables a listar. La generación de las tablas y las gráficas se documenta en el Capítulo 6 Apartado 6.2.7, pág.200.

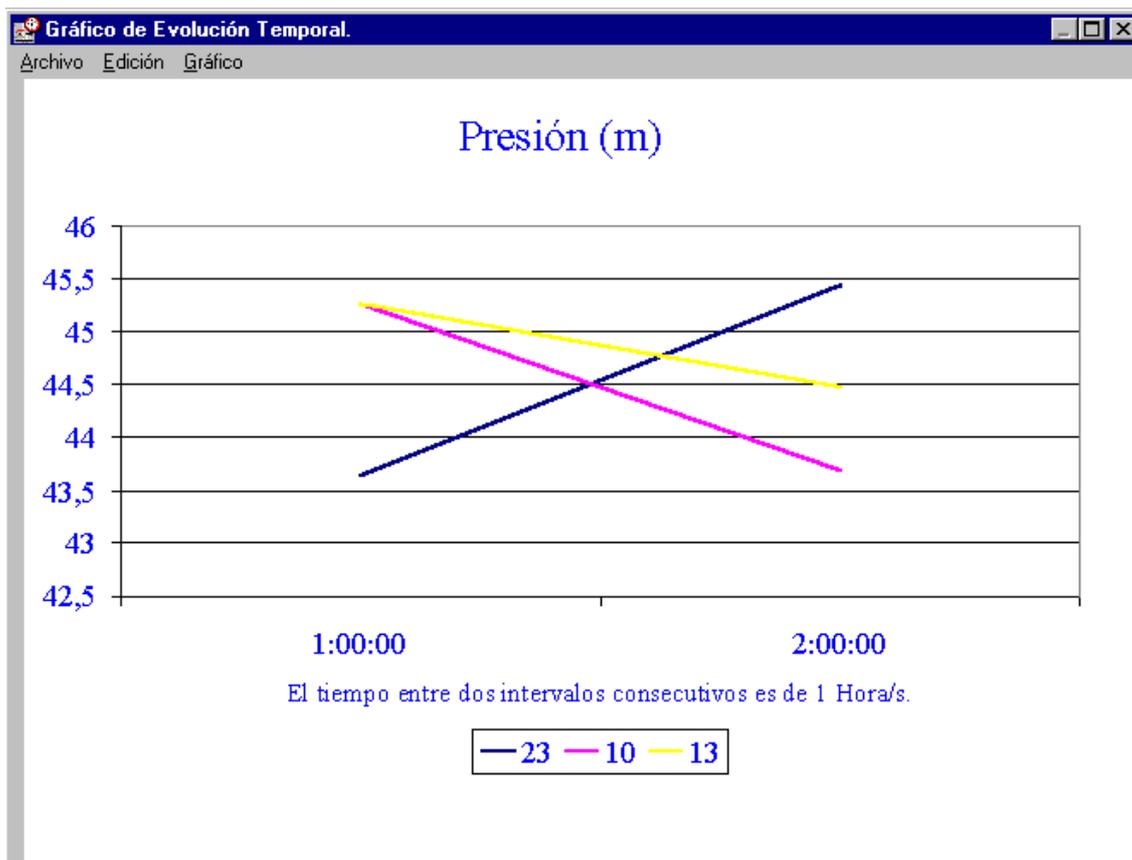


FIGURA 4. 16 Gráfico de evolución temporal



ALARMAS

Ver descripción en el *Capítulo 5*, apartado *Menú Alarmas/ Configuración* (pág. 173).



VER VALORES EN NODOS (F7)

Al pulsar este botón se visualiza en los nodos de la red los valores numéricos de una variable elegida de entre la lista de la *Barra de Herramientas* contigua a este botón. Se puede cambiar de una a otra sin más que escoger una nueva de la lista.

Estas variables accesibles para los nodos son: identificativo, cota, dotación, consumo, probabilidad, superficie, caudal ficticio continuo y comentario.

Después de calcular la lista de nodos se amplía con la presión, presión de consigna, exceso de presión y la altura piezométrica. El exceso de presión, se define como la diferencia entre la presión calculada y la presión de consigna, variable que existe siempre y cuando en el nodo se haya definido tal presión de consigna.

Cuando en algún tipo de nodo una o varias de estas variables no está definida, bien por no tener sentido o por ser una incógnita todavía no calculada, no se muestra valor numérico asociado al nodo.

Cuando se eliminan los resultados del último cálculo, pasando a una nueva etapa de edición, las variables que son calculadas en nodos o elementos dejan de mostrarse. De un cálculo al siguiente se mantiene la variable seleccionada de la lista.



VER VALORES EN ELEMENTOS (F8)

Al pulsar este botón se visualizan sobre los elementos los valores alfanuméricos de una variable elegida entre una serie de parámetros que aparece en la lista de la *Barra de Herramientas* contigua a este botón. Se puede cambiar de una a otra sin más que escoger una nueva de la lista.

Estas variables para los elementos son: identificativo, longitud (m), diámetro (m), rugosidad (*coeficiente de rugosidad*), material (*según código*), timbraje (*según código*), caudal (m^3/s), velocidad (m), pérdida de carga (m), pérdida de carga por unidad de longitud (*adimensional*) y comentario.

Cuando en algún tipo de elemento una o varias de estas variables no está definidas, bien por no tener sentido o por ser una incógnita todavía no calculada, no se muestra valor numérico asociado al elemento.

Cuando se eliminan los resultados del último cálculo, pasando a una nueva etapa de edición, las variables que son calculadas en nodos o elementos dejan de mostrarse. De un cálculo al siguiente se mantiene la variable seleccionada de la lista.

FILA INFERIOR:

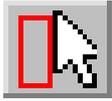


SELECCIONAR

Con esta herramienta se ofrece la posibilidad de seleccionar un nodo o elemento de la red con propósito de generar fácilmente sus gráficos en evoluciones temporales, a través de la ventana *Tablas para Gráficos*, cuando se encuentra seleccionada la opción *Selección gráfica*, en dicha ventana (ver pág. 93).

Para seleccionar un nodo o elemento, pulse sobre él tras haber activado la herramienta *Seleccionar*. El nodo o elemento seleccionado pasará a ser de color gris. Para cancelar la selección de un nodo o elemento, pulse sobre cualquier punto de la ventana gráfica. Solamente se permite seleccionar un nodo o elemento.

ATENCIÓN: El color gris adjudicado a los nodos y elementos seleccionados puede confundirse con el código de color asignados a elementos descargados o nodos sin consumo (ver pág. 99).



SELECCIÓN RECTANGULAR

La herramienta *Selección Rectangular* permite escoger un grupo de nodos y elementos contenidos en un área rectangular de la ventana gráfica (pulsando y arrastrando el ratón), para operaciones de **Desplazamiento**, **Duplicación (cortar o copiar)** y **Edición Múltiple**:

- ◆ **Desplazamiento.** Una vez seleccionado un grupo de nodos y elementos, y después de pulsar en la zona seleccionada con el botón principal del ratón, éstos podrán cambiar de ubicación arrastrando con el ratón el rectángulo seleccionado. Al desplazar una selección se cambiarán las coordenadas X e Y de los nodos (adoptando las de la ubicación final), mientras que el resto de parámetros de los nodos no son modificados. Los extremos de los elementos adyacentes a los nodos desplazados se situarán en las nuevas localizaciones. Asimismo, en el caso de existir *Elementos Conducción* en forma de polilíneas, solamente se desplazarán los vértices que se encuentren en el interior de la selección.
- ◆ **Duplicación (cortar o copiar).** La *Selección Rectangular* permite copiar y cortar los nodos y elementos seleccionados en el portapapeles de *Windows*, mediante las herramientas correspondientes del *Menú Edición* o de la *Barra de Herramientas* de *GESTAR*. Esto permite pegar la selección realizada en la ventana gráfica. Tras el pegado, se posibilita arrastrar el rectángulo resultante para ubicarlo convenientemente.

Al pegar un grupo de nodos y elementos previamente copiados o cortados mediante la herramienta *Selección Rectangular*, los nuevos nodos o elementos adquirirán automáticamente un identificativo por defecto, al cual se le podrán anteponer dos caracteres mediante un formulario que se mostrará para tal fin.

- ◆ **Edición Múltiple.** La *Selección Rectangular* también permite la edición de los parámetros de definición de los nodos y elementos seleccionados de dos formas:
 1. *Edición Múltiple Selectiva.* Tras realizar la *Selección Rectangular* y pulsar sobre ella, al seleccionar en la *Barra de Herramientas* un tipo de nodo o elemento presente en la selección se mostrará su ventana de definición con los campos vacíos. Al aceptar esta ventana, los campos que hayan sido cumplimentados se impondrán a todos los nodos o elementos del tipo escogido presentes en la selección. De esta manera se permite, por ejemplo, establecer la misma dotación en todos los *Nodos de Consumo Conocido* seleccionados.
 2. *Edición Múltiple General.* Tras realizar la *Selección Rectangular* y pulsar sobre ella, al hacer doble clic sobre uno de los nodos o elementos seleccionados se mostrará su ventana de definición. Al aceptar esta ventana, todos sus campos (modificados o no) se impondrán a todos los nodos o elementos del mismo tipo que el escogido, excepto el campo correspondiente al *Identificativo* y, en el caso de los nodos, las coordenadas X e Y.



SELECCIÓN IRREGULAR

La *Selección Irregular* permite escoger un grupo de nodos y elementos encerrados dentro de un polígono que se deberá definir. Tras pulsar sobre el botón *Selección Irregular*, se deberá ir pulsando sobre el mapa para definir los vértices del polígono deseado. Para cerrar el polígono, dando por finalizada la selección, se deberá hacer una pulsación en el botón secundario del ratón. La *Selección Irregular* permite operaciones de *Edición Múltiple*, descritas en la herramienta *Selección Rectangular*. La *Selección Irregular* NO permite operaciones de *Desplazamiento* ni de *Duplicación* (copiar o pegar).



COMENTARIOS

Sirve para escribir comentarios sobre particularidades de la red para una mejor comprensión y visualización de la misma.

Tras activar esta opción, el cursor se transforma en un icono de inserción de texto y se deberá pulsar con el ratón en el punto de la ventana gráfica donde se desea que aparezca el texto, que será especificado en la ventana *Comentarios* (FIGURA 4.17) que se abrirá a continuación.



FIGURA 4. 17 Ventana Comentarios

En la parte superior de la ventana se debe escribir el texto deseado. En la parte central de la ventana, se ofrece la posibilidad de modificar las coordenadas de origen del texto, apareciendo por defecto las del punto del mapa donde se ha pulsado previamente. También es posible decidir si el texto en el mapa va a ser visible (casilla *Visible*) o que sólo pase a formar parte de la lista de comentarios, así como establecer las fuentes del texto (botón *Fuentes*).

Pulsando el botón *Aceptar*, el texto pasará e formar parte de la lista de comentarios de la parte inferior de la ventana con las características especificadas.

Para editar nuevamente o borrar comentarios ya existentes, véase la opción *Editar Comentarios* (pág. 161).



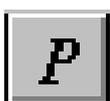
ELIMINAR NODO/ELEMENTO

Al hacer "clic" sobre un nodo o elemento cuando está seleccionada esta herramienta, aparecerá un aviso preguntando si se desea eliminar dicho nodo o elemento; al confirmarse se eliminará. Para borrar un emisor es suficiente con borrar sólo su nodo o su elemento asociado. Sólo se pueden borrar los nodos aislados, por lo que es preciso borrar en primer lugar los elementos adyacentes a un nodo previamente a su eliminación.



ABRIR/CERRAR HIDRANTES

Al hacer "clic" con esta herramienta sobre un *Nodo de Consumo Conocido* o sobre un *Nodo Hidrante Regulador*, éstos se cierran automáticamente (consumo nulo), mientras que si ya estaban cerrados se vuelven a abrir con la demanda instantánea que tenían antes de cerrarlos. Los nodos abiertos o cerrados incondicionalmente (*botón Restricciones de Sorteos*, pág. 99) no podrán ser modificados con esta herramienta. Los hidrantes cerrados tendrán un color azul claro, mientras que los cerrados serán blancos.



RESTRICCIONES DE SORTEOS

Permite determinar la apertura o cierre de un *Nodo de Consumo Conocido* o de un *Nodo Hidrante Regulador* de forma permanente (apertura o cierre incondicional), de modo que su estado no pueda ser modificado por la herramienta *Sorteo* (pág. 78), ni con la herramienta *Abrir/Cerrar Hidrantes* (pág. 99).

Al hacer "clic" sobre un hidrante con esta herramienta activada, éste pasará a estar incondicionalmente abierto; si se vuelve a pulsar sobre el mismo hidrante, se cerrará incondicionalmente; un tercer "clic" sobre él lo dejará abierto, pero sujeto al resultado de los sorteos.

El estado de un hidrante, por tanto, queda reflejado en la forma en que su icono aparece sobre la ventana gráfica. Dicho icono será circular si el hidrante es un *Nodo de Consumo Conocido* y cuadrado cuando es un *Nodo Hidrante Regulador*:



(azul)

Hidrante abierto (sujeto a sorteo).

		(blanco)	Hidrante cerrado (sujeto a sorteo).
		(azul con segmento blanco)	Hidrante abierto incondicionalmente.
		(gris)	Hidrante cerrado incondicionalmente.

4.2.1 TIPOS DE NODOS.

Todos y cada uno de los nodos tienen asociada una ventana con similar estructura y un icono característico. El caso más completo es el que se muestra en la FIGURA 4.18.

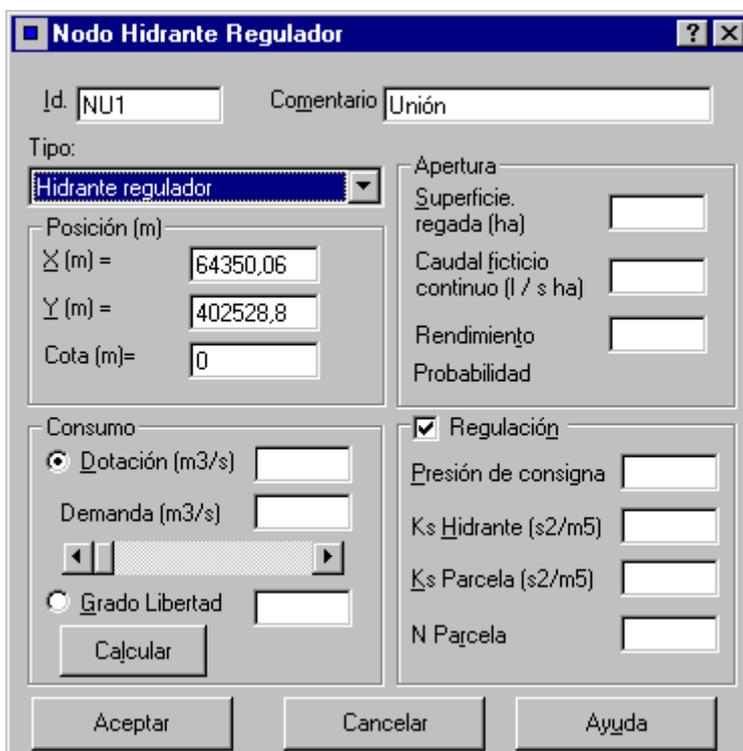


FIGURA 4. 18 Nodo Hidrante Regulador.

Todos los nodos, independientemente de su tipo, poseen los siguientes datos comunes:

- ◆ **Id:** Identificativo de cada nodo. Es alfanumérico (máximo 10 caracteres); no pueden existir dos nodos de la misma red con el mismo identificador. Se puede reservar algunos caracteres para designar la zona en la que se encuentra; por ejemplo, todos los que corresponden a un sector concreto de la red pueden empezar por un cierto dígito o llevar cierto prefijo.
- ◆ **Comentario:** Es una cadena de caracteres alfanuméricos (máximo 20 caracteres) en la que se puede escribir cualquier información para cada nodo. Sirve para añadir comentarios adicionales, como fecha, propietario, zona, ...

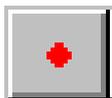
- ◆ **Tipo:** Indica qué clase de nodo se está introduciendo. Los parámetros requeridos en la ventana dependen del tipo de nodo.
- ◆ **Posición:** Son las coordenadas en planimetría (X e Y) y en altimetría (cota Z) de cada nodo expresadas en metros. El origen de coordenadas cartesianas se encuentra en la esquina inferior izquierda; la X crece hacia la derecha y la Y crece hacia arriba.

Se puede seleccionar el tipo de nodo mediante la *Barra de Herramientas*, o bien en la lista de tipo de nodos. Según el tipo de nodo, en la ventana de definición habrá que añadir datos como la dotación, demanda instantánea o altura de presión, regulación... Las casillas que contienen las nuevas variables que es preciso definir al cambiar de un tipo a otro, aparecen rellenas con los valores que corresponde a esa variable en el último nodo abierto que poseía tal variable.

Los diversos tipos de nodos aparecen en la fila inferior de la *Barra de Herramientas*.

Además tenemos en la parte inferior un botón de *Ayuda* que incorporan las ventanas para llevarnos al archivo que tiene GESTAR para la información sobre el programa.

Se va a observar también que en la parte superior derecha de todas las ventanas de definición vamos a encontrar un botón con una interrogación. Este botón nos va a servir de ayuda explicativa de las diversas partes de las ventanas, es lo que se llama *Ayuda sensitiva*. Picaremos con el ratón allí y después en la parte de la ventana que deseamos conocer, y GESTAR nos mostrará un trozo de texto sobreimpresionado en el que se nos dará una pequeña descripción de lo marcado.

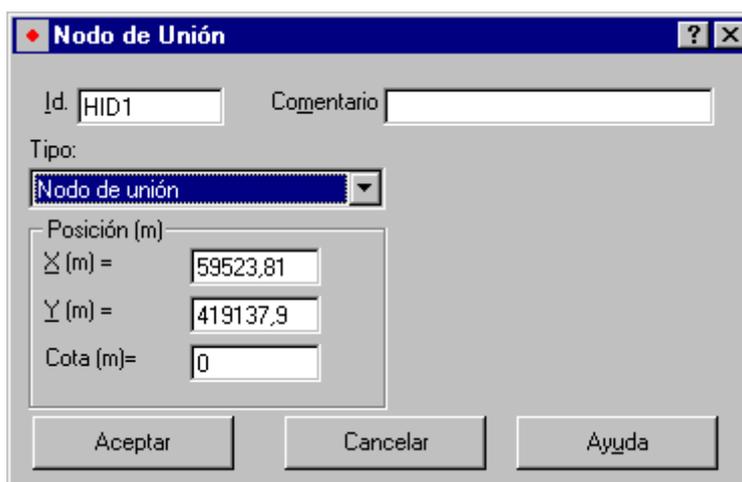


NODO DE UNIÓN

Es un caso particular de *Nodo de Consumo Conocido* (pág. 104), en el que el valor asignado al consumo exterior es igual a cero. No aparece ninguna ventana de definición de caudal, ya que se interpretará como caudal nulo, pero se precisa especificar sus coordenadas. Se puede utilizar para representar cualquier punto singular de la red, como bifurcación de ramales, cambios de diámetro, elementos cerrados en el extremo, cambios de dirección de las conducciones, puntos de paso intermedio donde se desee controlar la presión, etc.

Existe la posibilidad de trazar una conducción con múltiples vértices para representar los cambios producidos en la dirección del elemento (ver pág. 116). De este modo no es necesario recurrir a la creación de un *Nodo de Unión* exclusivamente con este propósito.

Al ubicar un *Nodo de Unión* no aparece automáticamente su ventana de diálogo, ya que tanto las coordenadas como el identificativo asignados por defecto se consideran aceptables. Para acceder a la ventana del *Nodo de Unión*, o de cualquier otro componente, (FIGURA 4.19) es preciso editar el nodo haciendo doble "clic" sobre él.

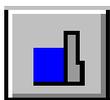


Id. Comentario

Tipo:

Posición (m)
X (m) =
Y (m) =
Cota (m) =

FIGURA 4. 19 Nodo de Unión.

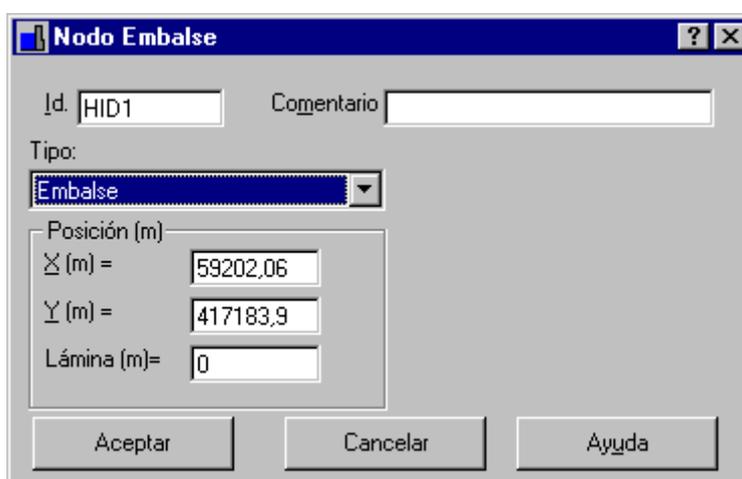


NODO EMBALSE

El *Nodo Embalse* (FIGURA 4.20) es un caso particular de *Nodo de Presión Regulada* (pág. 103), en el que el valor asignado automáticamente por el programa a la altura de presión es nula. La condición de contorno que se debe suministrar en el nodo embalse es la cota de la lámina libre (respecto de la referencia global de cotas), que se debe introducir en el recuadro de *Lámina (m)*.

Este tipo de nodo simula, por tanto, una toma de fluido desde un sistema que está abierto a la atmósfera y en el que la cota de la lámina libre es constante a lo largo de todo el periodo de simulación.

Balsas, depósitos de nivel constante y pantanos, con capacidad suficiente para no experimentar variaciones de nivel en periodos cortos, son ejemplos de puntos de abastecimiento que pueden ser configurados con este tipo de nodo.



Id. Comentario

Tipo:

Posición (m)
X (m) =
Y (m) =
Lámina (m) =

FIGURA 4. 20 Nodo Embalse.



NODO BALSA

Es un nodo de alimentación de la red utilizado para una simulación del comportamiento de la red a lo largo del tiempo. (Ver *Evolución Temporal*, pág. 83). Para la realización de la simulación son necesarios los datos de la balsa (FIGURA 4. 21):

- ◆ **Niv. Inic:** Valor del nivel inicial de la balsa. Para disipar la influencia de este valor en el comportamiento de la red, es necesario utilizar un tiempo de simulación largo.
- ◆ **Niv. Máx y Niv. Mín:** Niveles máximo y mínimo de fluido admisibles en la balsa, así como nivel inicial.
- ◆ **Sección:** Sección de la balsa (m²) en su nivel máximo.
- ◆ **Pendiente:** Ángulo que forman sus paredes respecto de la vertical (en grados); este ángulo ha de ser mayor o igual a 0° y menor de 90°.

Sólo durante la opción *Evolución Temporal* (pág. 83) se toman en consideración los datos suministrados, en el resto de opciones de cálculo instantáneo el valor que se toma es el nivel inicial.

FIGURA 4. 21 Nodo Balsa.



NODO DE PRESIÓN REGULADA

En este tipo de nodo la condición de contorno es la altura piezométrica conocida, expresada en unidades del *Sistema Internacional* (metros):

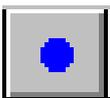
$$H = z + \frac{p}{\rho g} \quad (m)$$

siendo z la cota del nodo respecto a un nivel de referencia común a todos los nodos, y $\frac{p}{\rho g}$ la altura de presión en el nodo, respecto a un nivel de referencia común a todos los nodos (habitualmente la atmósfera), expresada en metros de columna de agua (mca).

FIGURA 4. 22 Nodo de Presión Regulada.

En la ventana de definición del nodo (FIGURA 4.22) se colocará z en el recuadro de cota y $\frac{p}{\rho g}$ en el de altura de presión. Los casos más habituales de ésta última, en función del punto con que se identifique el nodo, son:

- ◆ **Regulador de presión con presión regulada P_0** : La altura de presión es $\frac{P_0}{\rho g}$. (Caso general). Por ejemplo, este tipo de nodo puede representar los reguladores de presión que alimentan a presión constante una parcela para simular el comportamiento hidráulico en la red de la misma.
- ◆ **Lámina libre**: La altura de presión es nula.
- ◆ **Solera de un depósito, canal o embalse**: Se hará constar la cota de la lámina libre respecto del fondo.
- ◆ **Sistemas de almacenamiento con un nivel de lámina libre variable a largo plazo**.



NODO DE CONSUMO CONOCIDO

Es un nodo donde la condición de contorno es el *Consumo* exterior, supuesto conocido e independiente de la presión, entendiéndose por consumo, bien aporte o extracción de caudal de la red.

Habitualmente, los *Nodos de Consumo Conocido* (FIGURA 4. 23) corresponden a una sencilla modelización de los hidrantes dotados de reguladores de presión y limitadores de caudal que alimentan a ritmo constante, fijado por el limitador de caudal, un cierto dispositivo, **siempre que la presión de alimentación se encuentre por encima de un determinado umbral característico de los elementos de regulación instalados.**

ATENCIÓN: Si la presión en la red es inferior al valor de regulación del hidrante, éste no podrá suministrar el caudal fijado inicialmente como valor de demanda, por lo que en tales circunstancias el *Nodo de Consumo Conocido* no reproducirá correctamente el comportamiento del hidrante. Para considerar estos casos consultar el *Nodo Hidrante Regulador* (pág. 107).

Conviene distinguir entre los términos: *Dotación*, *Demanda* y *Consumo*, que aunque habitualmente se emplean indistintamente, en el contexto del programa *GESTAR* poseen significados precisos y distintos.

Dotación: Asignación de caudal que, como máximo, se extraerá de un hidrante.

Demanda: Caudal que el regante desea extraer cuando abre un hidrante. Es un valor inferior o igual a la *Dotación*.

Consumo: Caudal que realmente se extrae de la red en un cierto nodo. En un *Nodo de Consumo Conocido* el valor del *Consumo* coincidirá con la *Demanda* cuando se abra el nodo, pero no así sucederá en los *Nodos Hidrantes Reguladores* si la presión no es suficiente (pág. 107). En los *Nodos Emisores* el *Consumo* siempre vendrá impuesto por la presión de alimentación.

En un *Nodo de Consumo Conocido*, el *Consumo*, es el valor de caudal, C , que aparece en la caja de texto de *Demanda* (FIGURA 4. 23) en el nodo (en $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$). El signo del mismo dependerá de si este caudal es de aporte o de extracción de la red, con el siguiente convenio de signos:

- ◆ **C positivo (> 0):** Demanda de caudal a la red = salida
- ◆ **C negativo (< 0):** Suministro a la red = entrada

La definición de la *Demanda* de un nodo que represente un hidrante de riego, se puede hacer mediante dos procedimientos alternativos que se eligen en el sub-bloque *consumo* de la ventana de definición del *Nodo de Consumo Conocido* (FIGURA 4. 23):

Especificación de la Dotación. En el primer procedimiento se especifica la *Dotación* del hidrante por parte del usuario, que corresponde al consumo máximo que puede tener el nodo, pudiendo el usuario también variar la *Demanda*, entre un valor mayor que cero y la *Dotación*, a través de una barra de "scroll" una vez definida la *Dotación*. ***GESTAR* no permite un valor nulo de demanda instantánea para simular el cierre de un hidrante.** Para cerrarlo se deberán usar las herramientas *Abrir/ Cerrar Hidrantes* (quedando el hidrante a merced de los sorteos) o *Restricciones de Sorteos* (no viéndose modificado por los sorteos).

Especificación del Grado de Libertad. En el segundo procedimiento el usuario suministra el *Grado de Libertad (GL)* del hidrante, es decir, el inverso de la probabilidad de que una toma de este tipo esté abierta (ver *Anexo IV pg.269*). En esta opción hay que suministrar además obligatoriamente una serie de parámetros adicionales: la *Superficie Regada (ha)*, el *Caudal Ficticio Continuo (l s⁻¹)* y el *Rendimiento Operativo* en las cajas de diálogo correspondientes (FIGURA 4. 23).

La notación y definición de estas variables es la siguiente

- ◆ **GL:** *Grado de libertad* (adimensional). Inverso de la probabilidad de que la toma esté abierta.
- ◆ **D:** *Dotación de caudal para la parcela alimentada por el hidrante*(m³ s⁻¹).
- ◆ **r:** *Rendimiento Operativo* (adimensional). Cociente entre las duraciones real y teórica de la campaña de riego. Ha de estar comprendido entre 0 y 1.
- ◆ **q_{fc}:** *Caudal ficticio continuo* (l s⁻¹ha⁻¹).Caudal necesario suponiendo una aportación ininterrumpida de agua a lo largo de las 24 horas del día.
- ◆ **S:** *Superficie de la parcela regada por el hidrante* (ha).

La relación que establece la *Dotación* en función de las anteriores variables se documenta en el *Anexo IV* (pág. 269). y es:

$$Q_{dot} = \frac{q_{fc} \cdot S_p}{10^3 \cdot r} \cdot GL$$

El usuario podrá a continuación variar la *Demanda*, entre un valor mayor que cero y la *Dotación*, a través de la barra de "scroll".

La probabilidad de apertura de un hidrante aparece indicada en el sub-bloque *apertura* de la ventana de definición y se actualiza cuando se cierra la ventana o se pulsa el botón *calcular* del sub-bloque *consumo*. El cómputo de **la probabilidad de apertura del hidrante** se evalúa de acuerdo a la opción elegida para la definición de la *Dotación*:

Dotación especificada

Se requiere suministrar los valores de *GL*, *D*, *r*, *q_{fc}* y *S*, en el sub-bloque *apertura* de la FIGURA 4. 23 siendo la probabilidad:

$$p = \frac{t}{T_r} = \frac{1}{r} \cdot \frac{t}{T} = \frac{q_{fc} \cdot S_p}{10^3 \cdot Q_{dot}} \cdot \frac{1}{r}$$

Los valores suministrados deberán ser coherentes, no permitiéndose dar valores de probabilidad superiores a la unidad. La probabilidad se calcula con el valor de la *Dotación* del nodo, en consecuencia, es la mínima probabilidad de apertura, puesto que si la *Demanda* se configura con valores inferiores a la *Dotación*, el cómputo de la probabilidad de uso sería superior al valor que indica *GESTAR*.

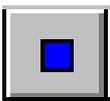
Grado de Libertad especificado

La probabilidad es directamente el inverso del *Grado de Libertad*, mayor o igual a la unidad en todo caso

$$p = GL^{-1}$$

Si se desea, se puede establecer el valor de consigna del reductor de presión asociado al hidrante que asegura que, si en la red se alcanza dicha presión, el consumo coincidirá con la demanda impuesta. Durante la salida gráfica de resultados se podrán detectar automáticamente los nodos con presión de alimentación insuficiente, mostrando la variable *Exceso de Presión*, que es justamente la diferencia entre la presión calculada y la *Presión consigna* que se refleja en el sub-bloque regulación de la ventana de la FIGURA 4.23. Los consumos que realmente se darán en la práctica en estas situaciones no coincidirán con los impuestos en la casilla de *demanda*, cuyo valor seguirá impuesta como condición de consumo.

FIGURA 4. 23 Nodo de Consumo Conocido.



NODO HIDRANTE REGULADOR (CONSULTAR ANEXO II)

En este tipo de nodo (FIGURA 4. 24), generalización del *Nodo de Consumo Conocido*, permite reproducir el comportamiento completo de un hidrante dotado de regulador-reductor de presión y limitador de caudal, para todo el rango de presiones de alimentación. Cuando la presión en la red es superior al valor de consigna, el *Nodo*

Hidrante Regulador se comporta como un *Nodo de Consumo Conocido*, suministrando un caudal de consumo igual al valor consignado en la casilla correspondiente a la *Demanda*. Todas las opciones y parámetros definibles en el *Nodo de Consumo Conocido* se encuentran presentes en el *Nodo Hidrante Regulador*. Sin embargo, si la presión de alimentación del hidrante es inferior a la de consigna, el *Nodo Hidrante Regulador* incorpora la simulación del comportamiento del conjunto hidrante-parcela mediante las curvas de respuesta presión-caudal. Se incluye además la simulación del limitador de caudal de la válvula reguladora del hidrante que evitará que, en cualquier caso, el caudal extraído supere la consigna de la parcela.

FIGURA 4. 24 Nodo Hidrante Regulador.

Los aspectos conceptuales de operación de los hidrantes dotados de regulador de presión y limitador de caudal, así como la estrategia numérica de su implementación en *GESTAR*, son recogidos en el Anexo II (pg. 255), y, en síntesis, consisten en una formulación híbrida del hidrante, de tal manera que si la presión en la red es superior a un cierto límite, $H_{límite} = K_s Q_{dot}^N$, el hidrante se comporta como un nodo de consumo conocido, con consumo igual a la demanda, pero si la presión no es suficiente el nodo se comporta como un emisor con una curva de comportamiento del tipo

El módulo de cálculo, en cada iteración, comprueba el nivel de presión que existirá después del hidrante con los elementos de regulación completamente abiertos, H_{cal} (presión en la red calculada menos las pérdidas en la(s) válvula(s) correspondientes al hidrante completamente abierta(s)), y modifica la modelización del hidrante, según sean los valores relativos de H_{cal} y $H_{límite}$, de la siguiente manera:

$$H_{cal} > H_{límite}$$

Si la presión después del hidrante, H_{cal} , es superior o igual a $H_{límite}$ el hidrante se configura como nodo de consumo conocido con consumo igual a la dotación. La presión en la red podrá incluso bajar por debajo del valor de consigna, H_c , sin que se modifique el caudal extraído por el hidrante, siempre y cuando H_{cal} se mantenga por encima de $H_{límite}$.

$$H_{cal} < H_{límite}$$

Si la presión después del hidrante, H_{cal} , es inferior a $H_{límite}$, se configurará el hidrante como emisor con la curva de respuesta $H_p = K_s Q_p^N$, con los valores K_s y N especificados en la ventana de definición.

Si el usuario quiere dotar al hidrante de estas posibilidades se activará dicha opción en la ventana de definición y se procederá obligatoriamente a indicar la presión de consigna (mca), que será igual o superior a la presión límite de funcionamiento del hidrante, y los coeficientes K_s (s^2/m^5) y N de la parcela. Optativamente puede especificarse las pérdidas en el hidrante de la parcela cuando éste se encuentra completamente abierto (condiciones de operación del hidrante como nodo emisor), dando el valor de K_s (s^2/m^5) del hidrante, que se supone tiene una ecuación pérdidas del tipo:

- ◆ **Presión de consigna:** Presión en mca para la que se tara el regulador de presión del hidrante.
- ◆ **K_s Hidrante:** Coeficiente de pérdidas del hidrante completamente abierto, según la expresión:

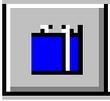
- ◆ **K_s Parcela y N Parcela:** Parámetros de la ecuación de pérdidas de la red de la parcela, según la expresión:

Los valores por defecto de N de la parcela y K_s del hidrante son 2 y 0.01 respectivamente. Con objeto de comprobar la consistencia de los datos introducidos en el bloque de regulación, al introducir los valores de la presión de consigna, H_c , y de K_s y N de la parcela, se debe comprobar que se cumple la relación:

$$H_c = K_s \cdot Q_{dot}^N$$

de lo contrario aparece un mensaje de error en el que se muestra el valor límite de K_s de la parcela, aceptando como correcto el valor de N de la parcela, que verifica la relación anterior. A falta de otra información más precisa sobre el comportamiento hidráulico de la parcela se sugiere establecer $N=2$ y dejar en blanco inicialmente el valor de K_s de la parcela, reintroducir seguidamente como K_s de la parcela el valor suministrado por el programa como respuesta al error intencional de configuración.

Si se desea, se puede desactivar el comportamiento híbrido del hidrante regulador, asimilándose entonces idénticamente a un *Nodo de Consumo Conocido*, deseleccionado el bloque de regulación del *Nodo Hidrante Regulador*. Los valores cargados en dicho bloque se conservarán para una posterior activación.



NODO DE DOBLE CONDICIÓN

Éste es un nodo en el que se desea imponer simultáneamente los dos tipos de condiciones de contorno posibles: altura piezométrica (esto es, cota y presión) y consumo. **Es un tipo de nodo mediante el cual se fijan las condiciones o requisitos de servicio locales a satisfacer en las técnicas de Análisis Inverso** (ver pág. 32).

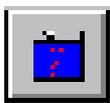
Al igual que en los *Nodos de Consumo Conocido*, se especifica un consumo igual a la *Demanda* (FIGURA 4. 25), una vez fijada la *Dotación* (consumo máximo), teniendo en cuenta que los valores positivos indican extracción de caudal de la red y negativos entrada. Además, habrá que especificar la altura piezométrica suministrando valores de cota y presión en el nodo de forma semejante a un *Nodo de Altura Conocida*.

La especificación del consumo no se puede asignar mediante Grados de Libertad, dado que estos nodos no tienen porqué corresponder a la modelización de hidrantes. En consecuencia en los *Nodos de Doble Condición* tampoco está definida la probabilidad del nodo, ni pueden ser sorteados con las herramientas de generación de estados aleatorios (pág. 78).

FIGURA 4. 25 Nodo de Doble Condición.

ATENCIÓN: Por cada uno de los *Nodos de Doble Condición* impuestos se debe establecer un grado de libertad adicional, es decir, un *Nodo sin Condición* (pág. 111) de contorno o un *Elemento Indeterminado* (pág. 139), que serán calculados para alcanzar los valores consignados de altura y caudal.

La utilización combinada de los *Nodos de Doble Condición*, en conjunto con los *Nodos sin Condición* y *Elementos sin Característica Pasiva*, requiere que se cumplan una serie de condiciones para que exista solución del sistema de ecuaciones (2.6) correspondiente al caso. **ATENCIÓN:** Tenga siempre presente que **¡¡¡UNA COMBINACIÓN ARBITRARIA DE DATOS E INCÓGNITAS PUEDE NO TENER SOLUCIÓN FÍSICA!!!**. Por ejemplo, en una ramal donde sólo existan *Nodos de Consumo Conocido* no pueden pretender imponerse condiciones de presión y caudal en uno de los nodos mediante un elemento de control que esté situado en el mismo ramal aguas abajo del nodo en cuestión. Desafortunadamente, no todas las condiciones incompatibles son tan obvias como la que se ha señalado, por lo que el usuario deberá extremar las precauciones y obrar con sentido común cuando trabaje con las herramientas de Análisis Inverso.



NODO SIN CONDICIÓN

Éste es un nodo (FIGURA 4. 26) que se libera de condiciones de contorno en el Análisis Inverso. En el *Nodo sin Condición* no se impone ninguna condición de contorno, constituyéndose en un grado de libertad (No confundir con el término *Grado de Libertad*, definido como el inverso de la probabilidad de apertura de un hidrante, pág. 104) del sistema que el programa ajustará para conseguir las condiciones impuestas en los *Nodos de Doble Condición*.

No aparece ninguna ventana de especificación de variables de caudal o presión. El programa calculará los valores de altura y caudal exterior que son necesarios en el mismo para el cumplimiento del resto de especificaciones de la red. Estos valores permitirán establecer los niveles de presión en los puntos de alimentación o determinar el punto de funcionamiento de la bomba de impulsión necesaria. Para poder imponer un nodo de este tipo es necesario que exista algún otro *Nodo de Doble Condición*, de tal manera que el número de condiciones impuestas siga siendo igual al número de nodos del problema.

Id. NU1		Comentario Unión			
Tipo:					
Altura y consumo desconocidos					
Posición (m)					
X (m) =	64350,06				
Y (m) =	402528,8				
Cota (m) =	0				
Aceptar		Cancelar		Ayuda	

FIGURA 4. 26 Nodo sin Condición.



NODO EMISOR

Es un nodo en el que se descarga caudal al exterior de la red existiendo en el punto de descarga la presión ambiente exterior (atmosférica). Si se toman presiones en la red relativas a la atmósfera, la presión relativa en el punto de descarga es nula y, en consecuencia, la altura piezométrica en el punto de descarga es conocida e igual a la cota. Por tanto un *Nodo Emisor* es un nodo de altura piezométrica conocida, que *GESTAR* asigna automáticamente igual a la cota. Un *Nodo Emisor* simulará correctamente el punto final de todo dispositivo que comunique con la atmósfera exterior y cuyo caudal emitido dependa de la presión. Aspersores sin ningún regulador de presión antepuesto, pulverizadores, hidrantes abiertos sin elementos de regulación activos o con presiones insuficientes para que éstos funcionen, mangueras, descargas al exterior a través de válvulas, roturas, válvulas de alivio... responden a este esquema

El *Nodo Emisor* es un nodo híbrido dado que se acompaña sistemáticamente de un *Elemento Conducción* (rectilíneo, sin vértices geométricos intermedios) que permanece indisolublemente vinculado al *Nodo Emisor* y cuya identificación y ventana de definición son coincidentes. En este elemento se introduce la modelización hidráulica del comportamiento del emisor (Anexo III, pág.265) mediante una función de tipo: $\Delta H = K_s Q^N$ que caracteriza la respuesta del caudal emitido, Q , respecto a la presión de alimentación relativa a la atmósfera, ΔH .

Para crear un *Nodo Emisor* basta hacer "clic" sobre la posición escogida para la emisión en el mapa y a continuación otro "clic" sobre otro nodo (no emisor) ya creado anteriormente. **El sentido de definición del elemento asociado al *Nodo Emisor* es el contrario al de creación de sus nodos extremos.**

Tras ubicar un nodo emisor, se abrirá la ventana mostrada en la FIGURA 4. 27, donde se deberán introducir todos los parámetros que identifican al emisor que hacen referencia al *Punto Emisor*, a la *Conducción Asociada* y a la *Respuesta Hidráulica del Emisor*.

Configuración de los datos del Punto Emisor

La única información referente al punto de emisión que es preciso introducir es su posición, dada por defecto según las coordenadas del "clic" de creación, y la cota del punto de emisión, ya que *GESTAR* asume que la presión allí es la atmosférica.

Configuración de los datos de la Conducción Asociada

Los datos relativos a la conducción asociada al emisor corresponden a los mismos conceptos y operativa que cualquier otra conducción, aunque las casillas de diálogo se encuentran en lugares diferentes de la ventana, por lo que se remite a la descripción de los *Elementos Conducción* (pág. 116) para su conocimiento. La consignación de los parámetros referentes a la conducción es obligatoria por lo que, en caso de que esta conducción no exista realmente (fugas, emisores directamente conectados a la red), deberán darse diámetros arbitrarios muy grandes (p.e. 5000mm) y/o longitudes insignificantes (p.e. 0.001m), de tal manera que la pérdida de carga que introduzca el conducto sean despreciables.

Configuración de la Respuesta Hidráulica $\Delta H = K_s Q^N$ del Emisor

En cuanto a la formulación de la ecuación de comportamiento hidráulico del emisor (Anexo III, pág. 265) $\Delta H = K_s Q^N$, los valores de K_s y N pueden ser especificados:

- ◆ Suministrados por el usuario o por *GESTAR* como una pérdida singular en el elemento (ver el apartado correspondiente en el *Elemento Conducción*, pág. 116).
- ◆ Suministrados por *GESTAR*, que ajustará automáticamente los valores de K_s y N a los datos de presión/caudal cargados desde la base de datos (ver pág. 271) de emisores referentes al emisor en cuestión elegido.

K_s y N suministrados por el usuario o por *GESTAR* como una pérdida singular

En el primer caso, la(s) pérdida(s) singular(es) se consigna mediante la especificación, si corresponde, del tipo de válvula y % de apertura colocada en la conducción y/o desplegando las ventanas y utilidades de configuración de pérdidas singulares, acceso que se efectúa haciendo "clic" en el la casilla *Existen Accesorios y/o Pérdidas* de la FIGURA 4. 27. Si esta casilla se encuentra en blanco quiere decir que no se ha cargado ningún dispositivo que introduzca pérdidas singulares.

Así, por ejemplo, si el nodo emisor corresponde a una descarga directa desde una tubería a través de una válvula, se configurará el tipo de válvula y su % de apertura en las casillas de la esquina inferior derecha de la ventana de la FIGURA 4. 27. Si la emisión tiene lugar a través de cualquier otro elemento reconocido en la base de elementos de accesorios (pág. 126) o si el usuario conoce los valores de K_s y N o si dispone de pares de valores presión/caudal para ajustarlos, se activará la casilla *Existen Accesorios y/o Pérdidas* accediendo a las respectivas opciones.

ATENCIÓN: Si la emisión a la atmósfera se efectúa, a través de una sección de descarga real S , **con una energía cinética apreciable** deberá incluirse como pérdida singular de tipo $\Delta H = K_s Q^N$ la contribución cinética siendo esta:

$$K_s = 1 / (S^2 \cdot 2 \cdot g) \quad ; N=2$$

K_s y N suministrados por la base de datos de emisores

Cuando se selecciona un emisor de la base de datos, mediante la especificación de un fabricante y/o modelo de emisor, aparece una tabla con las características cargadas en la base de datos, que muestra, al menos, el caudal emitido en función de la presión de alimentación. Con estos valores *GESTAR* automáticamente aproxima mediante técnicas de mínimos cuadrados la nube de puntos presión/caudal a una función de tipo $\Delta H = K_s Q^N$, suministrando el coeficiente K_s y el exponente N . Otro tipo de datos, que pueden ser de utilidad al seleccionar cierto tipo de emisores en riego por aspersión, como son la pluviometría y alcance en función de la presión de alimentación son mostrados aunque no intervienen en la simulación hidráulica.

Id: EMS1 Comentarios: #

Emisor

Posición
 X = 56949,81
 Y = 374195,4
 Cota Z = 0 m

Fabricante: Pioggia_Carnevali Tipo de Emisor: FENNEC 2B-3,5/2,5

Tabla de Emisor			
P (Átm)	Q (l/seg)	Alcance (m)	Pluv
1,5	0,23	10,7	3,6
2	0,27	11,7	4,3
2,5	0,3	12	4,8

Origen: 49
 Longitud: 38634,6 m Ks: 463296700,72 N: 2,0606263

Conducción

Tubería
 Fabricante / Refs: <Todos>
 Material: Fibrocemento
 Timbraje: A/B

Diámetro (mm)
 Propio (interior) 100
 Base Datos 100 Nominal
 Diámetro exterior = 122
 Espesor = 11

Válvula Cerrada Válvula Antirretorno

Válvulas
 Tipo: <Ninguna>
 % Cierre:

Existen Accesorios y/o Pérdidas Rugosidad: 0,000025 (CH Hazen-Williams)

Aceptar Cancelar Ayuda

FIGURA 4. 27 Nodo Emisor.

La primera vez que se crea un emisor durante la ejecución de *GESTAR* las ventanas de selección *Fabricante* y *Tipo de Emisor* aparecen inicializadas por defecto con las opciones <Todos> y <Ninguno> respectivamente. De esta manera no se cargarán las características de ningún emisor a no ser que el usuario lo especifique seleccionándolo de entre los mostrados después de desplegar la lista de selección *Tipo de Emisor*.

Cuando se despliega la lista *Tipo de Emisor* se mostrará la relación completa de emisores cuyas características están en ese momento cargadas en la *Base de datos de Emisores*, correspondientes al fabricante elegido de entre la lista *Fabricante* que figura anexa a la lista *Tipo de Emisor*.

Si como fabricante se toma de la lista *Fabricante* la opción <Todos> la lista *Tipo de Emisor* contendrá la relación completa de todos los emisores de todos los fabricantes. Si se selecciona un valor de la lista *Fabricante* la lista *Tipo de Emisor* sólo mostrará los emisores correspondientes al fabricante elegido. Obsérvese que la categoría *Fabricante*

puede ser utilizada para estructurar y ordenar productos de una misma marca por gamas, con objeto de simplificar y reducir el tamaño de la lista *Tipo de Emisor*.

Una vez seleccionado un emisor de la base de datos para la creación de un *Nodo Emisor* los nuevos *Nodos Emisores* que se creen aparecerán con el tipo de emisor previamente seleccionado como valor por defecto con el fin de agilizar la carga repetitiva de emisores idénticos.

En cualquier caso, para añadir otras pérdidas singulares a un *Nodo Emisor*, se deberá activar la casilla de verificación *Existen Accesorios y/o Pérdidas*. No obstante estas pérdidas no se añaden por defecto a los sucesivos emisores que se generen posteriormente.

4.2.2 TIPOS DE ELEMENTOS.

Un elemento establece una conexión entre dos nodos. Para poder incorporar un elemento a la ventana gráfica deberán estar creados previamente los dos nodos que conectará. Si esto ocurre, bastará con seleccionar el botón de la *Barra de Herramientas* correspondiente al elemento que se desee para, a continuación, pulsar con el ratón sucesivamente sobre el nodo inicial y sobre el nodo final. Aparecerá por defecto un cuadro de diálogo (salvo con el elemento *Conducción*) donde se podrán establecer los parámetros y características del elemento creado.

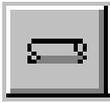
Al igual que lo que ocurre con los nodos, es posible modificar cualquier característica de un elemento ya creado haciendo doble "clic" sobre él. De esta manera se accederá al cuadro de diálogo correspondiente al elemento en cuestión.

Todos los elementos tienen dos características comunes en sus cuadros de diálogo:

- ◆ **Id:** Identificativo de cada elemento. Es alfanumérico (máximo 10 caracteres); no pueden existir dos elementos de la misma red con el mismo identificativo. Se puede reservar algunos caracteres para designar la zona en la que se encuentra; por ejemplo, todos los que corresponden a un sector concreto de la red empiezan por el dígito 5 o llevan el prefijo SectorA...
- ◆ **Comentario:** Es una cadena de caracteres alfanuméricos (máximo 20 caracteres) en la que se puede escribir cualquier información para cada nodo. Sirve para añadir comentarios adicionales, como fecha, propietario, zona...

Además tenemos en la parte inferior un botón de *Ayuda* que incorporan las ventanas para llevarnos al archivo que tiene GESTAR para la información sobre el programa.

Se va a observar también que en la parte superior derecha de todas las ventanas de definición vamos a encontrar un botón con una interrogación. Este botón nos va a servir de ayuda explicativa de las diversas partes de las ventanas, es lo que se llama *Ayuda sensitiva*. Picaremos con el ratón allí y después en la parte de la ventana que deseamos conocer, y GESTAR nos mostrará un trozo de texto sobreimpresionado en el que se nos dará una pequeña descripción de lo marcado.



ELEMENTO CONDUCCIÓN

Este tipo de elemento es el más común en las redes de distribución. Corresponde a una tubería de sección circular y diámetro constante que puede contener pérdidas de carga singulares adicionales. Puede trabajarse con conducciones de sección constante no circular, interpretando el *Diámetro* como *Diámetro Hidráulico*.

GESTAR ofrece la posibilidad de reproducir la geometría real de las conducciones mediante el trazado de conducciones con múltiples vértices. Estos elementos se crean haciendo un "clic" sobre el nodo inicial, otro "clic" en cada uno de los vértices que definen la geometría de la conducción y otro "clic" sobre el nodo final.

En una conducción con múltiples vértices, el usuario solamente puede definir o modificar las cotas de los nodos inicial y final. Las cotas de los puntos intermedios (vértices) son calculados automáticamente mediante una interpolación. En la FIGURA 4.28 se muestra gráficamente el proceso de interpolación (en la parte superior de la figura aparece la conducción tal y como la muestra *GESTAR* y en la parte inferior se observa en perspectiva el trazado real de la tubería). *GESTAR* calcula el plano (plano P en la figura) que contiene a los nodos extremos de la tubería (puntos A y B) y que tiene como línea de máxima pendiente la línea (recta r) que une dichos nodos. La cota de los nodos intermedios (en el ejemplo sólo el punto M) equivale a la cota del punto de intersección entre el plano P y la recta vertical (recta s) que pasa por las coordenadas x e y definidas al ubicar el nodo intermedio. La longitud asignada al tramo es la suma de las longitudes de cada uno de los tramos que componen la tubería, una vez ubicados los puntos intermedios tal y como se ha descrito. Evidentemente, esta longitud puede ser modificada editando la conducción (haciendo doble clic sobre ella).

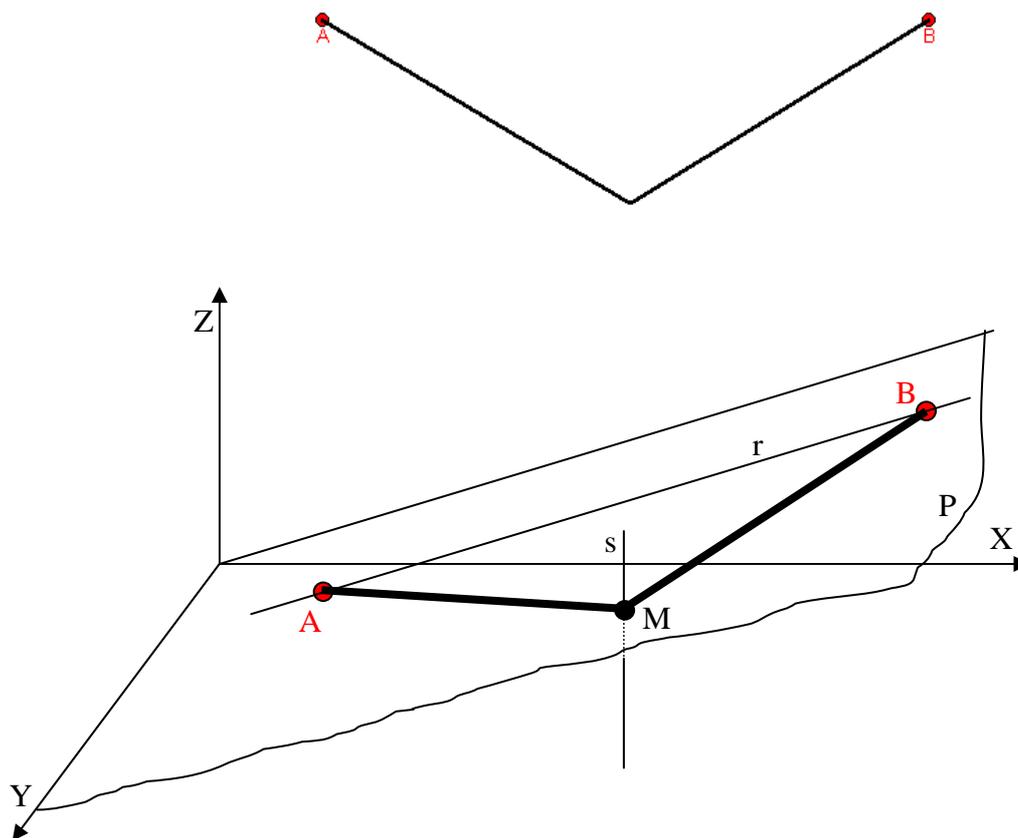


FIGURA 4. 28 Conducción con múltiples vértices.

Las conducciones se abren haciendo un doble "clic" sobre un punto cualquiera de ellas (también se abren cuando se crean las conducciones si se ha seleccionado la opción *Abrir al Crear* a través del menú *Opciones/ Valores por defecto/ Elementos*; por defecto esta opción está desactivada), apareciendo la ventana de la FIGURA 4. 29, donde se refleja el nodo inicial y final de la conducción (se pueden permutar con el botón ubicado a su izquierda), y se precisa suministrar obligatoriamente los siguientes datos en las casillas respectivas:

- ♦ **Longitud del elemento (metros).** Por defecto la longitud es calculada automáticamente en función de las coordenadas tridimensionales de los vértices del trazado de la conducción, suponiendo un tramo rectilíneo entre dos vértices de la conducción y siendo la longitud de la conducción la suma de las longitudes de cada rectilíneo. Dado que las cotas sólo se imponen en los nodos inicial y final, las cotas de los vértices intermedios se establecen suponiendo que todos los vértices se encuentran en el mismo plano. De cualquier modo, el usuario puede modificar la longitud según sus necesidades.

FIGURA 4. 29 Elemento Conducción.

- ♦ **Diámetro interior del elemento (mm).** Está dado por defecto en el menú *Opciones/ Valores por defecto/ Elementos*, y a partir del momento en que se modifique, todos los elementos creados con posterioridad adoptarán dicho valor por defecto. Se establece mediante dos opciones alternativas a las que accede activando los botones correspondientes:

Base de Datos: Seleccionado el conducto de una lista de diámetros normalizados, que se modificará en función del fabricante, del material y timbraje elegidos de la *Base de Datos de Conducciones "tuberías.mdb"* (pág. 272) según el procedimiento descrito más abajo.

Propio: Consignado por el usuario, debe corresponder, como en la anterior opción, al diámetro interior del conducto, que no siempre coincidirá con el diámetro nominal. (opción por defecto al crear la primera conducción).

El valor del diámetro interior aparecerá en la casilla *Diámetro Propio (interior)* tanto si el conducto se ha elegido de la base de datos (valores en gris no modificables cargados de la base de datos) como si se ha dado directamente (valores modificables en la casilla)

- ◆ **Factor de Rugosidad.** Ha de estar en consonancia con la formulación de pérdidas elegida. Por ejemplo, si se utiliza una formulación *Hazen-Williams*, será el coeficiente C_H de *Hazen-Williams* para el material empleado. Si es la formulación de *Colebrook* se utilizará la rugosidad absoluta del elemento (en metros). Al cambiar de tipo de cálculo de pérdidas se modifica el valor pedido para el *Factor de Rugosidad*. La formulación para el cálculo de pérdidas se selecciona a través del menú *Cálculos/ Características* (ver pág. 166), y deberá ser consistente con la especificación del *Factor de Rugosidad*. Cuando se definen las conducciones según la base de datos, el parámetro de rugosidad que se carga es el que figura en la base de datos. Aunque habitualmente los valores existentes en las *Base de Datos de Conducciones* corresponden a valores absolutos de rugosidad (metros), lógicamente el usuario podrá alterar dicho campo en la base de datos (ver pág. 272.) para adecuarlo a otras formulaciones de pérdidas. Cuando el diámetro interior lo establece el usuario, el valor de *Factor de Rugosidad* por defecto es el valor que figura en el menú *Opciones/ Valores por defecto/ Elementos*. Dado que el *Factor de Rugosidad* es ampliamente variable según la antigüedad del conducto, el estado de conservación, características del agua... la casilla en la que aparece *Factor de Rugosidad* es editable bajo cualquier opción, por lo que el usuario siempre puede modificar dicho parámetro según su criterio. Este cambio no afectará a los registros de la *Base de Datos de Conducciones*. Siempre que se modifique el *Factor de Rugosidad* respecto a los valores por defecto este cambio se mantendrá en la creación de nuevos conductos en tanto en cuanto no se altere ninguna de las selecciones hechas para fijar el componente elegido de la *Base de Datos de Conducciones*.

Junto a la información obligatoria anterior optativamente puede incorporarse información adicional referente al fabricante, material y timbraje del conducto. Estos datos pueden aportarse manualmente o seleccionarse de entre la información registrada en la *Base de Datos de Conducciones "Tuberías.mdb"*. Si se utiliza la *Base de Datos de Conducciones*, el valor del diámetro interior y rugosidad por defecto se podrán establecer directamente desde la base de datos. Al crear una conducción las casillas siguientes se configuran por defecto con los mismos valores que el último conducto creado.

- ◆ **Fabricante/refs.** Para poder hacer uso de la información contenida en la base de datos relativa a conducciones es preciso seleccionar de la lista desplegable (ver FIGURA 4. 30) un fabricante o referencia técnica distinto de <Ninguno>, de entre cuyos productos se tomarán las características del conducto. Al seleccionar un fabricante o referencia de la lista, los contenidos de las casillas *Material*, *Timbraje* y *Diámetro/ Base Datos* se configurarán como listas de parámetros que reflejarán las gamas disponibles del *Fabricante/referencia* elegido y que estén registradas en la base de datos "Tuberías.mdb". La asignación de diámetro a la conducción podrá hacerse entonces, por defecto, seleccionando el diámetro nominal de la lista asociada a la casilla *Diámetro/ Base Datos*, lista que dependerá de las selecciones adicionales existentes en *Material* y *Timbraje*.

Tuberías

Id. Comentario

Nodo inicial: 44
Nodo final: 49

Longitud m

Tubería
Fabricante / Refs

Funditubo
Uralita

Diámetro(mm)
 Interior (propio)
 Base Datos
Nominal
Diámetro exterior = 122
Espesor = 11

Rugosidad
CH Hazen-Williams

Válvula Cerrada Válvula Antirretorno

Válvulas
Tipo % Cierre

Elementos Singulares

Accesorios		
Accesorio	Parámetro	Valor

Pérdidas Singulares		
Número	Ks	N

FIGURA 4. 30 Selección de fabricante de conducción.

◆ **Material:** Recoge el código o caracterización del material de la conducción. Si en la casilla *Fabricante/referencia* se ha realizado una selección distinta de <Ninguno>, el material se seleccionará de la lista desplegable que presenta los materiales filtrados de la base de datos de acuerdo a la elección *Fabricante/referencia*. (ver FIGURA 4. 31). Si en la lista *Fabricante/referencia* se selecciona el valor <Todos> en la lista adjunta a la ventana *Material*, se mostrarán todas las referencias a materiales distintas entre sí de todos los fabricantes incluidos en la base de datos. Un mismo material que figure consignado en la base de datos con códigos distintos se mostrará según sus códigos como materiales distintos (p.e. fibrocemento, Fibrocemento).

FIGURA 4. 31 Selección de material de conducción

◆ **Timbraje:** Contiene el código o valor numérico de la presión nominal de la conducción. Si en *Fabricante/referencia* se ha realizado una selección, distinta de <Ninguno>, el timbraje será determinado eligiendo entre los valores comerciales contenidos en la base de datos y mostrados en la lista de la casilla *Timbraje*, lista que esta condicionada a las selecciones previas en las casillas de *Fabricante/referencia* y *Material* (ver FIGURA 4. 32). Si en la lista *Fabricante/referencia* se ha seleccionado el valor <Todos>, en la casilla *Timbraje*, se mostrarán todos los timbrajes con código distinto de todos los fabricantes que suministren el material reflejado en la casilla *Material*. En tal caso, si los mismos timbrajes aparecen registrados con códigos distintos en distintos fabricantes, se mostrarán e interpretarán como timbrajes distintos (p.e. PN10 atmf y PN1Mpas).

FIGURA 4. 32 Selección de timbraje en conducción.

◆ **Diámetro (Base de Datos):** Para que esta casilla se encuentre activada en la casilla *Fabricante/referencia* debe figurar cualquier selección que no sea <Ninguno>. En la casilla *Diámetro (Base de Datos)* (FIGURA 4. 33) se seleccionará un valor de diámetro nominal de entre la lista desplegable asociada, lista que contiene los valores de diámetro nominal correspondientes al fabricante, material y timbraje seleccionados en las casillas respectivas. Si en la lista *Fabricante/referencia* se ha seleccionado el valor <Todos> en las casilla *Diámetro/Base datos*, se mostrarán todos los diámetros nominales distintos entre sí de todos los fabricantes que suministren el material y timbraje reflejado en la casilla *Material y Timbraje*. Puesto que los diámetros nominales son valores normalizados, que coinciden en distintos fabricantes para un mismo material y timbraje normalizado, las características de diámetro interior, rugosidad y espesor que se reflejan, asociadas a un diámetro nominal, y que pueden diferir de un fabricante a otro, son las registradas para el primer fabricante contenido en la base de datos que suministre dicho material y timbraje.

Id. Comentario

Válvula Cerrada Válvula Antirretorno

Nodo inicial: CC1
Nodo final: CC2

Longitud m

Tubería
Fabricante / Refs
Material
Timbraje

Diámetro(mm)
 Interior (propio)
 Base Datos
Diámetro exterior: 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400
Espesor = 11

Rugosidad
CH Hazen-Williams

Válvulas
Tipo % Cierre

Elementos Singulares

Accesorios		
Accesorio	Parámetro	Valor

Pérdidas Singulares		
Número	Ks	N

FIGURA 4. 33 Selección de diámetro en conducción.

Si el diámetro que se desea instalar no figura entre los valores registrados en la *Base de Datos de Conducciones*, este puede imponerse manualmente (siempre el diámetro interior) activando la opción "Diámetro Propio". Los parámetros consignados en las casillas fabricante, material, timbraje y rugosidad conservan su valor, tanto si se han especificado manualmente como si lo han sido a través de la base de datos.

NOTA: Al importar datos del dimensionado de *DIOPRAM* las casillas relativas a "Material", Timbraje", "Diámetro" y "Rugosidad" aparecen rellenas con los datos generados por *DIOPRAM*, que no tienen que corresponder a los valores registrados en la *Base de Datos de Conducciones* de *GESTAR*.

Elementos Singulares.

Existe la posibilidad de añadir *Elementos Singulares* vinculados a la *Conducción* para poder contemplarlos en la simulación evitando tener que introducir excesivos componentes distintos. Éstos no incluyen válvulas de regulación, que se especifican de forma independiente (pág. 135). La ecuación de comportamiento de la *Conducción* es, por tanto, la correspondiente a la suma de una tubería más las pérdidas singulares (ver Anexo I, expresión AI.1 pág. 239):

$$\Delta H = \frac{1}{2g} \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum k \right) \frac{Q^2}{S^5} + K_s Q^N$$

y efectos operativos de los accesorios instalados:

En lo referente a la inclusión de elementos singulares debe tenerse en cuenta los siguientes extremos:

Cuando una *Conducción* contenga *Elementos Singulares* aparecerá en el centro de la representación gráfica del elemento un icono que identifica la existencia y tipo de *Elemento Singular* incluido.

Si una *Conducción* posee más de un tipo de *Elemento Singular* definido en su interior, el icono que aparece asociado a la *Conducción* refleja el tipo de *Elemento Singular* más relevante, de acuerdo a una escala de prioridad que va del 1 al 4.

La ubicación topológica de los *Elementos Singulares* queda indeterminada en el conjunto de la conducción, ya que esta es irrelevante para el cómputo de la pérdida de energía neta dentro del conducto de sección constante. En consecuencia, no es necesario especificar ninguna posición relativa de los mismos. Si se desea situar con precisión algún dispositivo en la red, p.e. para conocer exactamente la diferencia de presión entre los extremos, se deberá definir un elemento *Conducción* específicamente para dicho dispositivo, con unos valores de diámetro o longitud del conducto asociados con el elemento singular (p.e. diámetro igual al diámetro de la singularidad, longitud igual a la longitud del dispositivo o un valor arbitrario muy pequeño para despreciar las pérdidas lineales).

Todos los *Elementos Singulares* instalados en una **conducción deben tener el mismo diámetro interior** que la conducción en que se definen, en consecuencia, si existiera algún dispositivo de diámetro diferente al conducto deberá crearse una *Conducción* a propósito para albergar al elemento.

A continuación se describen los tipos y manejo de los *Elementos Singulares* disponibles en *GESTAR*, indicando el icono del elemento que los distingue y el orden jerárquico que establece la prioridad de su representación en caso de existir varios *Elementos Singulares* en una *Conducción*.

- ◆  **(1) Válvula de Seccionamiento** (casilla de verificación *Válvula Cerrada*).
Cierra el paso de fluido por un conducto.

ATENCIÓN: En redes ramificadas se deberá tener la seguridad, al cerrar el flujo en un conducto, que ningún nodo aguas abajo del conducto cerrado donde el consumo sea conocido, aunque sea nulo, (*Nodo de Consumo Conocido*, *Nodos de Unión*, *Nodo Hidrante Regulador*) queda desconectado de todos los nodos de altura piezométrica conocida (*Nodo de tipo Balsa*, *Embalse*, *Presión Regulada*, *Doble Condición* y *Emisor*). De lo contrario el sistema de ecuaciones (2.6) no posee solución. De forma intuitiva este fenómeno puede interpretarse como la imposibilidad física de suministrar el caudal impuesto en un nodo si algún conducto que sirve caudal al nodo se encuentra cerrado. *GESTAR* detecta la

existencia de nodos que se encuentran aislados (es decir, que no poseen comunicación con una altura piezométrica de referencia, asimilables a puntos de alimentación de la red) suministrando al usuario un aviso "*Conjunto de Nodos sin Altura Piezométrica de Referencia*" y resaltando en el gráfico de la red mediante un círculo todos los nodos que han quedado aislados.

En consecuencia NO se debe activar nunca la opción *Válvula de Seccionamiento* en conductos de alimentación de nodos terminales de ramificación donde el consumo sea conocido, aunque sea nulo, para efectuar el cierre de una toma, pues el sistema será físicamente incompatible. Para cerrar una toma o hidrante simplemente hay que utilizar la operación *Abrir/Cerrar Hidrantes* (pág. 99) de la *Barra de Herramientas*. De esta manera en el esquema gráfico el nodo aparecerá como nodo cerrado, estableciendo claramente el estado real del hidrante.

- ◆  **(2) Válvula de Retención** (casilla de verificación *Válvula de Retención*). Permite la circulación del flujo desde el nodo inicial al nodo final, e impide que el caudal circule en dirección contraria a la de definición del elemento. La *Válvula de Retención* en *GESTAR* se implementa como un dispositivo lógico, y en principio no lleva asociadas pérdidas de carga cuando se encuentra abierta. Si se desean incorporar las pérdidas de carga, éstas se introducen en el bloque de pérdidas singulares que se describe en la pág. 127. Para permitir el paso de fluido *GESTAR* verifica que la altura piezométrica del nodo inicial de la conducción es superior a la altura piezométrica del nodo final, ya que las meras diferencias de presión no son significativas dado que los extremos del elemento pueden estar a diferente cota.
- ◆  **(3) Válvulas de Estrangulamiento (Válvulas)**. Se introducen en la simulación incorporando la pérdida singular que añaden de acuerdo la ecuación característica $\Delta H = K_S Q^N$, donde K_S y N se determinan interna y automáticamente por *GESTAR* mediante los valores extraídos de la *Base de datos de Válvulas*, "Válvulas.mbd", en función del tipo de válvula y grado de cierre. El tipo de válvula se selecciona de entre una lista ofrecida en la casilla *Tipo* y el grado de cierre se especifica en la casilla *% Cierre* consignando manualmente el tanto por ciento que se desee establecer del recorrido total del elemento actuador para el cierre de la válvula (valor inferior al 100% en cualquier caso). Así a una válvula de bola que se encuentre completamente abierta le corresponderá un *% Cierre* de 0% mientras que si el actuador ha girado 45° el *% Cierre* será 50%. El mantenimiento y ampliación de las válvulas reconocidas en *Tipo* y de la asignación de valores de K_S y N en función del grado de cierre se puede consultar en la pág. 271.

Se recomienda que, en caso de que el porcentaje de cierre sea elevado, a partir del 90% de cierre aproximadamente, se tomen con precaución los resultados obtenidos, dado que, en tales circunstancias, la incertidumbre en la determinación de los coeficientes adimensionales de pérdida es elevada y además el conducto se encuentra muy obstruido, lo que puede afectar a la convergencia de la solución. **Las mismas prevenciones señaladas para Válvulas de Seccionamiento (pág.124) en redes ramificadas se aplicarán en caso de un porcentaje de cierre elevado.** Si el grado de cierre es muy

elevado, conviene plantear la conveniencia de sustituir la *Válvula de Estrangulación* por una *Válvula de Seccionamiento*.

- ◆ **✚ (4) Elementos Singulares.** (Botón *Añadir/ Modificar Elementos Singulares*). Cualquier pérdida singular, distinta de las *Válvulas de Estrangulación*, que quiera ser contemplada en la modelización hidráulica de la conducción se introducirá en una ventana adicional que se despliega al pulsar el botón *Añadir/ Modificar Elementos Singulares*. La ecuación de pérdidas de los *Elementos Singulares* es del tipo $\Delta H = K_S Q^N$, donde K_S y N pueden asignarse automáticamente por *GESTAR*, mediante la *Base de Datos de Accesorios "Accesorios.mdb"*, o bien definirse explícitamente por parte del usuario. Los códigos y parámetros de identificación de las pérdidas introducidas mediante el primer procedimiento aparecen listados en la ventana de definición del *Elemento Conducción*, FIGURA 4. 29, bajo el epígrafe *Accesorios*. Asimismo, las pérdidas que se establecen por el usuario mediante la especificación de K_S y N se listan bajo el epígrafe *Pérdidas Singulares*, donde se refleja los valores de K_S y N cargados.----- con coeficientes los coeficientes valores podrán ser ajustados exponencialmente introduciendo conjuntos de puntos de su curva de comportamiento (ver pág. 141).

- ◆ Cuando se activa *Añadir/ Modificar Elementos Singulares* se despliega la ventana de definición de *Elementos Singulares*, FIGURA 4. 34, donde aparecen los bloques diferenciados: *Accesorios* y *Pérdidas Singulares*.

- ◆ ***Accesorios.***

Los coeficientes de pérdidas de carga en las uniones de los tramos, codos, entradas y salidas a depósitos, reducciones, dispositivos de medida, y otros elementos singulares que se encuentran registrados en la *Base de Datos de Accesorios* pueden ser incorporados automáticamente. La caracterización de las pérdidas singulares en los *Accesorios* se responde a una expresión del tipo:

$$\Delta H = k \cdot \frac{1}{2 \cdot g \cdot S^2} \cdot Q^2$$

donde k es el coeficiente adimensional de pérdidas del elemento singular, que se aporta desde la base de datos, y S la sección transversal de la conducción, dada en virtud de su diámetro.

En la casilla *Tipo* se seleccionará el que corresponda del listado que recoge los tipos de accesorios registrados en la *Base de Datos de Accesorios*.

Según el tipo de *Accesorio* elegido, p.e. codo anguloso, será preciso especificar un parámetro adicional para identificar convenientemente el *Elemento Singular* p.e. , ángulo de giro en el caso del codo anguloso, parámetro cuyo valor será seleccionado entre los disponibles en la lista que aparecerá en la derecha de la casilla *Tipo*. En el encabezado de esta segunda

lista que ofrece indicará el parámetro a especificar, que dependerá lógicamente del *Elemento Singular* de que se trate.

Cuando, dadas las características del *Accesorio* no es preciso especificar ningún otro parámetro, desaparecerá la segunda casilla.

Finalmente, el número de elementos singulares idénticos a los especificados en la casilla o casillas anteriores se indica en la casilla *Número*.

Se supone que los diversos *Elementos Singulares* que pueden aparecer están suficientemente alejados como para que no exista interacción entre ellos (Así, p. e. las pérdidas correspondientes a dos codos alejados 45° pueden sumarse, pero la pérdida en un codo de 90° no puede considerarse equivalente a la existente en dos codos de 45° situados uno a continuación del otro). Una vez caracterizado el *Accesorio* y su número, se procede a introducir la del dispositivo en la *Conducción* pulsando el botón *Añadir*. Los datos correspondientes al *Accesorio* así introducido aparecen reflejados en una lista que asimismo refleja el valor de k rescatado de la base de datos.

La modificación y ampliación de la base de datos se encuentra documentada en el Anexo V, pág.271.

◆ *Pérdidas Singulares.*

Aquellos dispositivos que no se encuentren especificados en la Base de datos, o que se desee configurar de forma particular (p.e. dispositivos especiales, pérdidas singulares en emisores, términos de energía cinética en una descarga libre,...) pueden introducirse suministrando los valores de K_s , N de la ecuación de comportamiento:

$$\Delta H = K_s Q^N$$

y el número de dispositivos iguales en las casillas correspondientes. Pulsando el Botón *Añadir* del bloque *Pérdidas Singulares*, estos valores se introducirán en la red, apareciendo listados en el bloque *Pérdidas Singulares*.

Si se desea suprimir algún *Accesorio* o *Pérdida Singular* incorporado a la red bastará acceder a la ventana *Añadir/ Modificar Pérdidas Singulares* y seleccionar el elemento a suprimir de la lista adecuada, para a continuación pulsar el Botón *Eliminar*.

Frecuentemente los valores de K_s y N no son conocidos directamente o por el usuario, sino que dispone de resultados de ensayos en los que se determina la caída de altura piezométrica en función del caudal circulante. Las parejas de valores pueden ajustarse a una expresión potencial mediante una técnica de mínimos cuadrados. Para facilitar la realización del ajuste, en la ventana de definición de *Elementos Singulares*, FIGURA 4. 34, se incluye el botón *Ajustar K_s y N* que da acceso a una ventana de utilidad que permite evaluar y transferir dichos parámetros. La descripción de la ventana de ajuste se describe en la pág. 141.

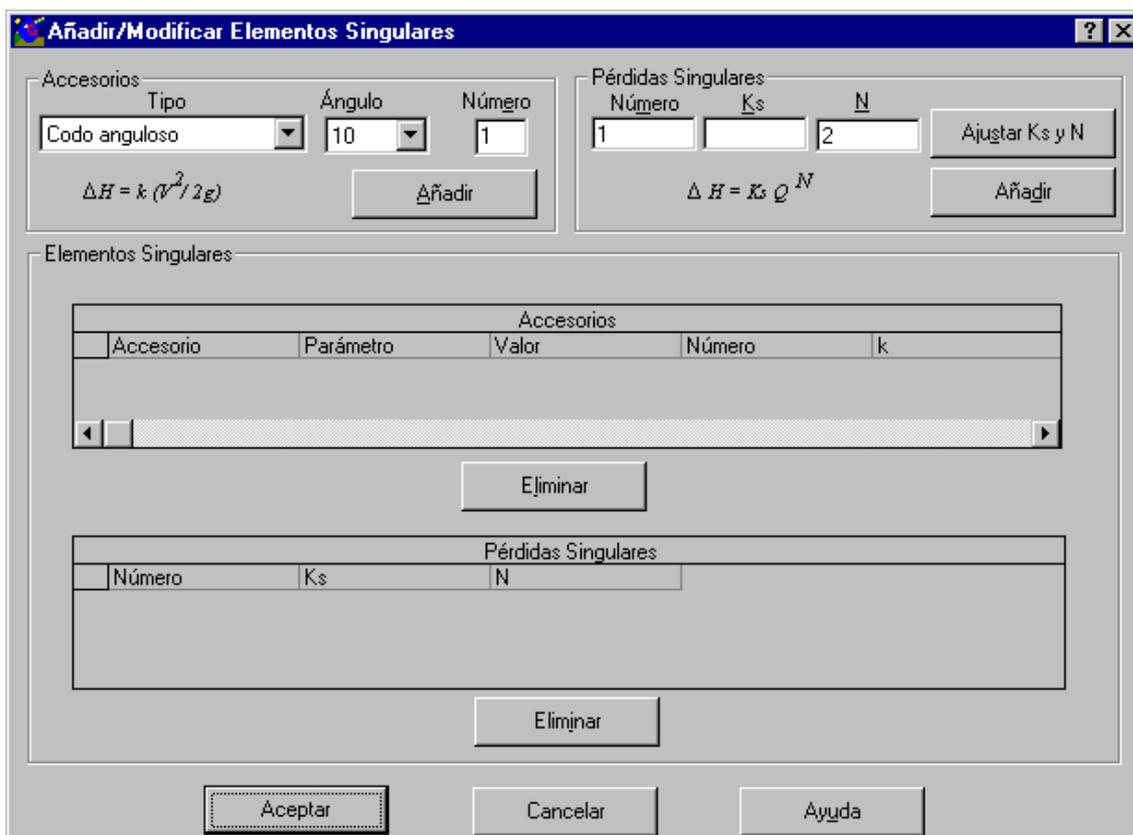
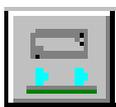


FIGURA 4. 34 Añadir/ Modificar Pérdidas Singulares.



ELEMENTO GOTERO

Mediante el *Elemento Gotero*, GESTAR permite la modelización de *Elementos de Consumo en Ruta*, caracterizados porque los caudales entrantes y salientes son diferentes debido a la existencia a lo largo del recorrido de emisores, cuyo consumo varía en función de la presión.

Este tipo de elemento sirve para la simulación de ramales de goteros, cintas de exudación, líneas de aspersores y, en general, cualquier circunstancia en que se produzca emisión en ruta.

En este apartado se va a describir el proceso de creación de los *Elementos Goteros*. Un estudio teórico detallado se encuentra en el Anexo X (pág. 301).

Para la construcción de un gotero se hará un “clic” sobre el icono de *Elementos de Caudal en Ruta* , situado en la Barra de Herramientas de GESTAR. Una vez seleccionada la herramienta se procederá a la creación del elemento. Para ello, se habrán dibujado previamente los dos nodos (inicial y final) entre los cuales se desea insertar el elemento. El *Elemento de Consumo en Ruta* puede estar dividido en distintos *tramos o ramales*, cada uno de ellos con diferentes características.

Para crear el primer tramo de un *Elemento de Consumo en Ruta*, se pulsará sobre el nodo inicial del elemento. Después, para terminar el primer ramal, se seleccionará cualquier otro punto del plano. Para crear consecutivamente los siguientes tramos del elemento, se procederá de la misma manera, hasta que se desee terminar la construcción del elemento, para lo que se deberá seleccionar con el ratón el otro nodo creado para este propósito (nodo final).

Cada vez que se crea un ramal, *GESTAR* demanda los datos necesarios mediante una pantalla de definición (FIGURA 4. 35). Antes de que el gotero quede representado en el plano, se deberán especificar una serie de parámetros en dicha pantalla, que aparecerá cada vez que se inserte un nuevo ramal.

FIGURA 4. 35 Ventana de definición de un ramal

El formulario de la FIGURA 4. 35 está dividido en dos partes: *Propiedades del EMISOR* y *Propiedades del CONDUCTO*.

1. Propiedades del EMISOR:

- ◆ **Fabricante del emisor:** Lista desplegable en la que se concretará y elegirá el fabricante de los emisores que se intercalarán en la tubería del ramal actual.
- ◆ **Tipo de emisor:** Lista desplegable en las que se especificará el modelo del gotero que se desea de entre los distintos modelos que pone a nuestra disposición el fabricante determinado en el cuadro de texto del fabricante. Una vez rellenado el tipo de emisor, automáticamente aparecerá en la cuadrícula inferior una tabla en la que se muestran los caudales que emite cada uno de los goteros, totalmente

definidos por las propiedades anteriores, para diferentes presiones. Estos caudales, han sido proporcionados también por el fabricante.

Tanto la lista desplegable del fabricante del emisor, como la del tipo de emisor, están directamente conectadas a la base de datos llamada *Emisores.mdb*, y que se suministra con *GESTAR*. En esta base de datos se recogen los fabricantes de los emisores, así como toda una serie de distintos modelos de emisores con sus características.

!!!ATENCIÓN!!!. En esta base de datos están recogidos todos los tipos de emisores que contempla *GESTAR*. Por lo que conviene prestar atención al tipo de emisor que se va a elegir, ya que la elección de un tipo de emisor que no corresponda a emisores de riego por goteo, probablemente originará un error, o simplemente no podrá ser satisfecha la demanda de caudal para el emisor en cuestión con las tuberías de riego por goteo (pequeño diámetro), para unas ciertas condiciones de presión.

- ◆ **Ks:** A partir de los datos mostrados en la citada tabla, se realiza un ajuste parabólico por mínimos cuadrados y el programa obtiene esta constante, así como el coeficiente N.
- ◆ **Coefficiente del Emisor Kd y Exponente de pérdidas del emisor x:** Automáticamente y a partir de los parámetros Ks y N se obtienen Kd y n con una simple transformación:

Como se tiene $H = K_s * Q^N$, y se desea una expresión $Q = K_d * H^x$, simplemente se transforma la primera expresión para llegar a la segunda. Así $Q^N = H / K_s$ y elevando toda la expresión a $1/N$, se obtiene: $Q = H^{1/N} / K_s^{1/N}$. Y sin más que comparar:

$$K_d \text{-----} 1 / K_s^{1/N} \qquad x \text{-----} 1/N$$

Los valores de Kd y de x, son para unidades de Q y de H expresadas en el sistema internacional. Conviene tener esto en cuenta, pues la magnitud de Kd varía en función de las unidades en que sean expresadas estas fórmulas.

2. Propiedades del CONDUCTO:

- ◆ **Longitud:** Longitud del tramo en metros.
- ◆ **Espacio entre emisores:** Distancia en metros entre los emisores definidos en el cuadro *Propiedades del EMISOR*.
- ◆ **Cota del subnodo:** Se denomina subnodo al punto final de cada ramal. En este espacio, se determinará la cota de dicho punto. En el caso del último ramal, este cuadro mostrará la cota de dicho nodo, y no será susceptible de ser modificada.
- ◆ **Fabricante:** Igual que para los emisores, de la lista se elegirá un fabricante del conducto del *Elemento de Caudal en Ruta*. La selección se realizará a partir de los datos recogidos en la base de datos *Gotos.mdb*, que se instala junto con la aplicación *GESTAR*.

- ◆ **Material:** Muestra los materiales disponibles correspondientes al fabricante seleccionado en la lista desplegable superior.
- ◆ **Diámetro interior y Diámetro Nominal (Base Datos) :** En el caso de existir una selección de *Fabricante y Material*, se deberá seleccionar un diámetro nominal entre los disponibles en *Goteros.mdb*. Si no existe selección, se permite la introducción manual del diámetro del conducto.

Una vez creados y definidos todos los tramos del Elemento de Consumo en Ruta, se ofrece una nueva ventana (FIGURA 4. 36) en la que se muestran las características globales del elemento.

The screenshot shows a window titled "Consumo en Ruta" with the following fields and controls:

- Id:** GOT1
- Comentarios:** (empty text box)
- Nodo inicial:** 1126
- Nodo final:** 1164
- Numero de subelementos:** 1
- Longitud total:** 7668,377 m
- Table:**

	Fabricante	Material	Longitud	N	Ks
1	<Ninguno>	<Ninguno>	7668,377	0	0
- Buttons:** Ver/Modificar Elementos, Aceptar, Cancelar, Ayuda

FIGURA 4. 36 Ventana de definición del gotero.

- ◆ **Identificador:** Se debe asignar un identificador al Elemento de Consumo en Ruta. *GESTAR* asigna un identificador por defecto de la forma: GOTx, donde x es un número; de forma que para el primer elemento de consumo en ruta creado asignará GOT1, para el segundo GOT2, y así sucesivamente.
- ◆ **Comentarios:** Destinado a la inserción de notas u otros comentarios que puedan servir de ayuda a la hora de recordar cualquier peculiaridad del elemento.
- ◆ **Número de subelementos:** Se nos recordará en este espacio el número de ramales de que consta el elemento.
- ◆ **Longitud:** Muestra la longitud total como suma de las longitudes de todos los tramos.

- ◆ **Tabla:** Esta tabla tendrá tantas líneas como ramales compongan el elemento de consumo en ruta. Y en cada línea, cinco celdas revelan los parámetros más importantes de cada ramal. Así se mostrarán en estas cinco columnas y de izquierda a derecha: el fabricante, el material y la longitud de la tubería, el exponente de pérdidas y el coeficiente del emisor.
- ◆ **Ver/ Modificar elementos:** Este botón se activa en el caso de que una sola de las líneas de la tabla anterior esté seleccionada. Su función consiste en mostrar la pantalla que muestra todos los parámetros del ramal correspondiente a la línea seleccionada, para hacer en ella las modificaciones pertinentes, o simplemente para visualizar dichos datos.

ADVERTENCIA: Las unidades de los elementos de consumo en ruta para el caso de la visualización del caudal, difieren de las del resto de elementos. Esto se debe a que los caudales con que trabajan los goteros son demasiado pequeños, en la mayoría de los casos, para ser expresados en m³/seg. Por ello se introducen y se muestran los consumos de los emisores en l/h.



ELEMENTO BOMBA

Éste es el elemento activo que nos proporciona altura de impulsión, $\Delta H < 0$, en un determinado tramo. Se declara mediante la ecuación polinómica que reproduce su curva característica $H_B(Q)$ (expresada siempre en unidades del *Sistema Internacional*).

Para crear un elemento bomba, basta hacer un "clic" en el nodo inicial y otro en el nodo final. Todos los parámetros que el programa necesita para la construcción y simulación de una bomba, están contenidos en la ventana que se abrirá automáticamente, mostrada en la FIGURA 4. 37. El formulario consta de cuatro hojas, a las que se accede haciendo "clic" en la correspondiente pestaña.

En la pestaña *Características*, FIGURA 4. 37, es donde aparece el nodo inicial (aspiración) y final de la bomba (impulsión), pudiéndose permutar con el botón contiguo, y donde se deben introducir los siguientes datos:

- ◆ **Diámetro de aspiración:** es el diámetro de la brida de aspiración, y puede corresponder al del elemento pasivo anterior. Se utiliza para el cálculo de la velocidad en la brida de aspiración, necesaria para determinar el *NPSHA*.
- ◆ **A, B y C:** son los coeficientes del polinomio de segundo grado que se ajusta a la curva característica de la bomba suministrada por el fabricante que representa el comportamiento del elemento $H_B(Q)$ de la forma:

$$-\Delta H = H_B(Q) = AQ^2 + BQ + C$$

Los coeficientes son obtenidos mediante una interpolación por mínimos cuadrados a un mínimo de tres puntos (o dos si se hace $B = 0$).

The screenshot shows a software window titled "Bomba" with a blue title bar. It has four tabs: "Características", "NPSHR", "Rendimiento", and "Potencia". The "Características" tab is selected. The main area contains the following fields and controls:

- Id.:** BOM4
- Coment.:** (empty)
- Nodo aspiración:** 3016
- Nodo impulsión:** 1126
- Diámetro de aspiración:** 0.063 m
- Curva H-Q section:**
 - A =** -10
 - B =** -10
 - C =** 10
 - Equation: $H(Q) = A \cdot Q^2 + B \cdot Q + C$
 - Conditions: $(A, B < 0; C > 0)$
 - Units: $Q: m^3/s$, $H: m$
 - Button: **Ajustar curva**

At the bottom of the window are three buttons: **Aceptar**, **Cancelar**, and **Ayuda**.

FIGURA 4. 37 Ventana de definición del Elemento Bomba.

Es posible obtener la ayuda de GESTAR para proceder al ajuste polinómico introduciendo un conjunto de pares de puntos de la curva característica pulsando el botón *Ajustar Curva*. El funcionamiento de la utilidad de ajuste se describe en la pág. 141.

Para que la operación de la bomba no cause inestabilidades en la red, **es necesario que A sea negativo y muy conveniente que también sea B negativo**. Si $A > 0$ el elemento bomba introducido no será admitido y no continuará el cálculo. Si $B > 0$ el programa dará un aviso de que los cálculos pueden no converger, pero se aceptará el dato.

Como se observa, también tenemos las pestañas *NPSHR*, *Rendimiento* y *Potencia*. Cumplimentar estas hojas no será imprescindible para la construcción y simulación de la bomba, sin embargo el hecho de suministrar estos datos podrá darnos una información valiosa a la hora de diseñar la instalación o recoger resultados de un cálculo dado.

Las tres hojas tienen una configuración idéntica, ver FIGURA 4. 38. Y constan de:

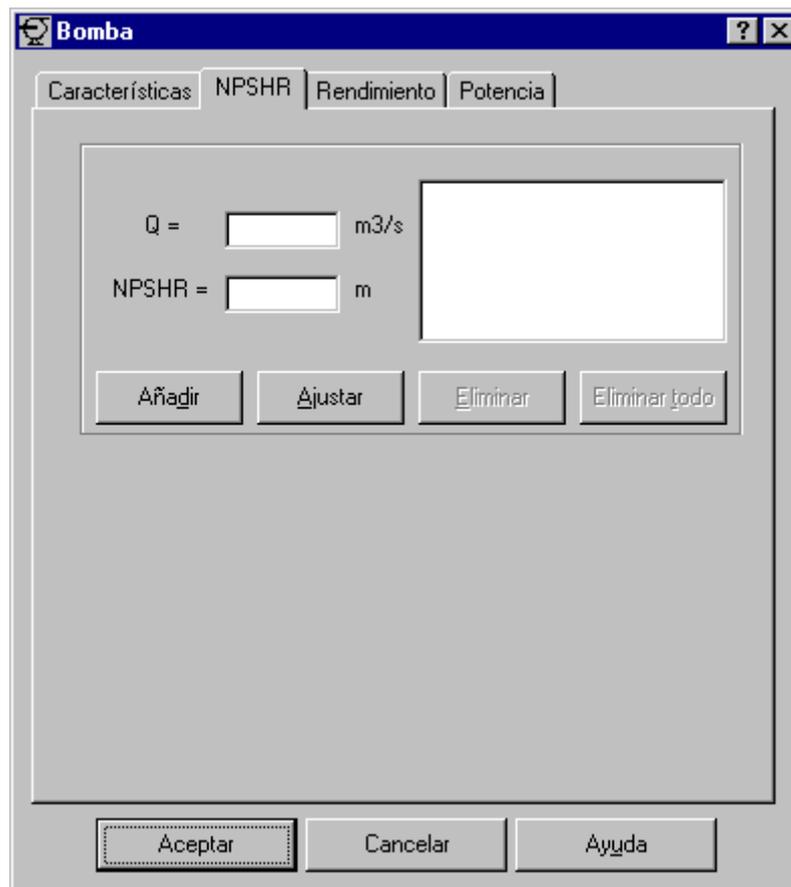


FIGURA 4. 38 Ventanas de ajusten de valores en bombas

-dos cuadros de texto para dar pares de puntos (al menos tres) con los que se trazará una parábola ajustada por el método de los mínimos cuadrados para la construcción de las distintas curvas características, bien la de rendimiento, potencia o NPSHR.

-una serie de botones para aceptar, borrar o ajustar dichos pares de puntos.

-un espacio reservado a la presentación del gráfico, una vez realizados los pertinentes cálculos.

La hoja de NPSHR nos pide los puntos para la construcción de la curva. Curva que vendrá dada por el fabricante normalmente. Esta curva será tenida en cuenta a la hora de comprobar si la bomba cavita o no. La verificación de cavitación se realiza a la hora de calcular, y para ser advertida por el usuario, se deberá haber marcado previamente en la pantalla de *Alarmas* la opción de *Cavitación*. Cuando el programa, en su proceso de cálculo, se tope con una bomba, mirará si se activó el botón de alarmas por cavitación, y si es así calculará el NPSH disponible, ahora, y para el caudal calculado, tomará el valor del NPSHR de la curva introducida por el usuario. Si verifica que el valor del NPSH disponible es menor que el requerido, se mostrará un aviso al usuario advirtiéndole de la situación. Este aviso varía según el tipo de cálculo que se haya realizado.

Las otras dos hojas, la del *rendimiento* y la de la *potencia*, están íntimamente relacionadas entre sí. A partir de una de estas curvas (potencia/ rendimiento) y de la

curva H-Q de la bomba, la otra (rendimiento/ potencia) quedará totalmente definida. Así, una vez que se dibuje la curva de potencia, automáticamente se dibujará la curva del rendimiento. Y si una vez hecho esto, por cualquier motivo se dibuja una nueva curva de rendimiento, la curva de potencia quedará redibujada, adaptándose a los nuevos datos.

Si rellenamos estas dos hojas, Gestar lo tendrá en cuenta a la hora de mostrar resultados, y tomará los datos necesarios para reflejar la potencia y la energía consumida por la bomba.

El elemento bomba posee por defecto una válvula de retención que no permite que el flujo se invierta respecto a la definición de la impulsión. Asimismo si el caudal de circulación excede el valor máximo admisible por la bomba, esto es, si la altura piezométrica en la impulsión es inferior en la salida que en la entrada a la bomba y la bomba se comporta como un elemento disipador de energía, aparece un aviso de *Desbordamiento de la Bomba*. Para el cómputo del punto de funcionamiento de la bomba en esta circunstancia se extrapola el mismo ajuste polinómico de la curva característica de la *Bomba* para la región de alturas de impulsión negativas (pérdida de carga positiva).

Para el caso de cálculos con evolución temporal, si una bomba se desborda en un instante dado, el aviso aparece en ese instante. Si se ignora dicha advertencia el programa sigue con su rutina de cálculo, y así para instantes posteriores, en que cambia la configuración de la red de acuerdo con los escenarios especificados, una misma bomba podrá regresar a su funcionamiento normal o volver a desbordarse.

Queda claro que esta advertencia es, simplemente, un aviso al usuario de que, quizás, está en una situación de la red diferente a la que esperaba, ya que GESTAR entiende que esta circunstancia, en que la altura en la aspiración es mayor que en la impulsión, es anormal .

Para una información más detallada de la teoría que rige el funcionamiento de GESTAR, con respecto a las bombas mirar el *Anexo XI*, pág.314.



ELEMENTO VÁLVULA REGULADORA

Se encuentran implementadas las válvulas de regulación automática monofuncionales más habituales: válvulas reductoras de presión, válvulas sostenedoras de presión y válvulas limitadoras de caudal.

Todas estas válvulas presentan estados activos de regulación, cuando se dan las condiciones de operación de las mismas, y estados en que se encuentran completamente abiertas e inactivas, cuando no es precisa su acción limitadora o cuando ésta no puede realizarse por las condiciones del flujo. *GESTAR* discrimina automáticamente estos estados límite, realizando las comprobaciones necesarias para detectar el estado de la válvula y modificar, si procede, su condición de elemento regulador o pasivo según las condiciones del flujo.

VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN: REDUCTORAS Y SOSTENEDORAS

FIGURA 4. 39 Elemento Válvula.

Las *válvulas reguladoras de presión* son elementos que se encuentran diseñados para mantener una determinada presión en un nodo, aguas abajo o aguas arriba del mismo. En el primer caso la válvula reguladora actuará como una *válvula reductora* y en el segundo como una *válvula sostenedora de presión*.

Para que los valores de consigna se interpreten correctamente, hay que definir las válvulas reguladoras entre dos nodos que se encuentren a la misma cota, haciendo un "clic" en el nodo inicial y otro en el nodo final. De forma automática aparecerá la ventana mostrada en la FIGURA 4. 39, donde aparece el nodo inicial y final de la válvula (se pueden permutar con el botón contiguo) y habrá que introducir los siguientes datos:

- ◆ **Tipo de válvula:** Hay que elegir el tipo de dispositivo a modelar entre los reconocidos.
 - a) **Válvula reductora:** El nodo regulado es el nodo aguas abajo del sentido definido de circulación del flujo en el elemento.
 - b) **Válvula sostenedora:** Se identifica el nodo regulado con el nodo aguas arriba del sentido definido de circulación del flujo en el elemento.
- ◆ **Presión de consigna:** es la presión en metros a mantener en el nodo regulado.
- ◆ **Ks Válvula abierta:** es el coeficiente dimensional de la expresión $\frac{K_s}{m}$, que determina las pérdidas de carga singulares en la válvula cuando ésta se encuentra completamente abierta sin acción reguladora. No se

admiten Ks nulos, estableciéndose unos valores mínimos por defecto. Para conseguir un buen comportamiento en la simulación de estos dispositivos es necesario suministrar unos valores realistas de los mismos puesto que valores arbitrarios excesivamente altos o bajos pueden inducir comportamientos anómalos.

- ◆ **Diámetro:** Se especifica el diámetro nominal de la válvula, valor que se emplea para determinar la velocidad de paso del flujo y verificar su adecuación a los márgenes dados por el fabricante.

En las *válvulas reductoras de presión* las presiones de consigna se mantendrán siempre que en el nodo aguas arriba la presión sea mayor que la necesaria para alcanzar la consigna aguas abajo. Si la presión aguas arriba es inferior al valor dado por la presión de consigna más las pérdidas de carga asociadas a la válvula cuando se encuentra completamente abierta, la función reguladora no se podrá satisfacer, y el dispositivo se encontrará completamente abierto comportándose como un elemento singular pasivo que comunica a su través la presión que llega aguas arriba con la de los puntos aguas abajo.

Si el flujo tiende a invertirse, esto es, la presión en el nodo regulado es superior a la del nodo inicialmente definido como aguas arriba, la válvula cerrará completamente comportándose como un dispositivo de retención.

En las *válvulas sostenedoras de presión*, cuando la presión aguas arriba se encuentra por encima de un valor fijado como umbral, la válvula sostenedora abre completamente su paso comunicando los puntos extremos sin ninguna acción controladora. Las *válvulas sostenedoras de presión* se activan cuando la presión aguas arriba de la válvula disminuye por debajo de la consigna, procediendo a estrangular el flujo en la medida necesaria para reducir el caudal hasta el punto en que la presión aguas arriba se mantenga en el valor de consigna. Asimismo, si el flujo tiende a invertirse la válvula cerrará comportándose como un sistema de retención.

VÁLVULAS LIMITADORAS DE CAUDAL

Las *Válvulas Limitadoras de Caudal* son dispositivos que se activan cuando el caudal circulante a su través supera un cierto valor límite, establecido como consigna de regulación, estrangulando el paso de fluido en la medida necesaria para que el caudal no supere el umbral de consigna. Cuando el caudal no supera el valor de consigna la válvula se encuentra completamente abierta, comportándose como elemento pasivo.

Cuando se selecciona una válvula de este tipo, los valores de consigna se corresponden al *caudal límite*, expresado en m^3/s , teniendo las otras variables, Ks y *Diámetro*, el mismo significado que en las válvulas reguladoras de presión.

PRECAUCIONES EN LA UTILIZACIÓN DE VÁLVULAS REGULADORAS:

En la configuración de algunas válvulas reguladoras debe tenerse precaución con objeto de **no introducir condiciones de funcionamiento contradictorias, especialmente en redes ramificadas**. Las incompatibilidades pueden ser de dos tipos.

Incompatibilidades en redes ramificadas.

En particular, habrá de vigilarse que cualquiera que sea el estado de la válvula reguladora todos los nodos de la red tengan comunicación con puntos con presiones de referencia. Así, por ejemplo, una *Válvula Limitadora de Caudal* colocada en un punto de un ramal en el que aguas abajo todos los nodos donde se extrae caudal sean de *Consumo Conocido* generará condiciones incompatibles en la solución del sistema (2.6) cuando la suma de caudales de los hidrantes abiertos supere el caudal de consigna, es decir cuando la válvula precisamente comience a intervenir. Similares fenómenos suceden cuando una *válvula sostenedora de presión* comienza a ser activa insertada en una conducción ramificada en la que aguas abajo sólo hay *Nodos de Consumo Conocido*. *GESTAR* avisará de la ocurrencia de situaciones de incompatibilidad señalando con un círculo rojo los nodos que quedan aislados de presiones de referencia por acción de las válvulas. No obstante, con objeto de poder calcular el estado real de la red en tales circunstancias, se han investigado e implementado técnicas eficientes que reproducen el comportamiento real de las *válvulas limitadoras de caudal* y de las *sostenedoras de presión*. Éstas operan estrangulando el paso y reduciendo las presiones aguas abajo del ramal en que se insertan hasta que a los reguladores de presión de algunos de los hidrantes (los más desfavorables) deja de llegarles presión suficiente, quedando completamente abiertos y suministrando a su parcela un caudal, dependiente de la presión, y ciertamente inferior al existente cuando la presión es adecuada.

En consecuencia si la *Válvula Reguladora* se ubica en un ramal, aguas abajo de la misma deberán modelarse las tomas de agua como *Nodos Hidrantes Reguladores* (ver pág. 107 para la definición de *Nodos Hidrantes Reguladores*). *GESTAR* discriminará los *Nodos Hidrantes Reguladores* que pasarán actuar como nodos emisores y automáticamente configurará las condiciones de contorno necesarias para encontrar la distribución real de caudales en los ramales ante la actuación de las *Válvulas Reguladoras*.

Incompatibilidades e inestabilidades en la combinación de válvulas.

Finalmente, es posible combinar diversos tipos de válvulas, siempre y cuando se respeten las compatibilidades físicas de los dispositivos. Así por ejemplo es evidente que dos válvulas reductoras de presión no pueden compartir un mismo nodo aguas abajo con distintos valores de consigna. En consecuencia deberán implementarse tales combinaciones con sumo cuidado para no inducir condiciones de contorno impracticables o que conduzcan a comportamientos inestables



ELEMENTO INDETERMINADO

El *Elemento Indeterminado* permite realizar diseños, ajustes y obtención de parámetros de control para la optimización de una red sin necesidad de recurrir a procesos de tanteo. Cuando se define este elemento entre dos nodos determinados de la red se obtiene el caudal y la diferencia de alturas piezométricas en los extremos, con lo cual *GESTAR* determina la resistencia hidráulica necesaria en el tramo, si éste resulta de tipo pasivo (ΔH y Q del mismo signo), o el punto de funcionamiento del elemento de impulsión que sería necesario intercalar en el tramo de la red, si es un elemento activo (ΔH y Q de signo contrario).



FIGURA 4. 40 Elemento Indeterminado.

Según el parámetro que se desee determinar de entre los tres siguientes: Diámetro, Longitud o Rugosidad (absoluta), se selecciona en la ventana la variable desconocida y se especificará el resto en las casillas que se despliegan al efecto. Por defecto se determina el coeficiente de resistencia hidráulica $K_s = \frac{\Delta H}{Q^2}$. En caso de ser un elemento activo (bomba) el listado de resultados establecerá el punto de funcionamiento ignorando las otras opciones.

ATENCIÓN: El valor de rugosidad que se emplea en la definición o determinación de variables en el *Elemento Indeterminado* es siempre la rugosidad absoluta (expresada en metros) sea cual sea la expresión de pérdidas de carga utilizada en la simulación de la red, y, en consecuencia, sea cual sea el coeficiente de rugosidad que se utilice en la definición de los *Elementos Conducción*.

Al ser el *Elemento Indeterminado* una herramienta de diseño inverso que incorpora una nueva incógnita al sistema, se necesita añadir un nuevo dato como

condición de contorno al problema, es decir, por cada *Elemento Indeterminado* definido, se ha de incluir un *Nodo de Doble Condición* (ver pág. 110).



GRUPOS DE DISEÑO INVERSO

Esta herramienta ofrece la posibilidad de ajustar el diámetro o la rugosidad común de un grupo de elementos, *Grupo de Diseño Inverso*, o de ajustar dichos parámetros en dos *Grupos de Diseño Inverso* (de uno de ellos se calculará el diámetro común y del otro, la rugosidad común). El valor desconocido inicialmente, y que es preciso ajustar, de cada grupo se convierte en una nueva variable incógnita del sistema (2.6).

Por cada *Grupos de Diseño Inverso* que se establezca, la red deberá contener un *Nodo de Doble Condición* (ver pág. 110) para que el sistema de ecuaciones (2.6) sea resoluble.

Al activar esta herramienta, se abrirá una ventana (FIGURA 4. 41) en la que se configuran uno o dos de los tipos de grupos mencionados (*Diámetro Desconocido* y *Rugosidad Desconocida*). Se comienza seleccionando del listado de identificadores de conducciones aquellas que se deseen que formen parte de un *Grupo de Diseño Inverso* para, a continuación, pulsar los botones *Hallar Diámetro* o *Hallar Rugosidad* que trasladan los identificadores desde la lista izquierda (*Conducciones*) a la lista de la derecha correspondiente de *Grupos de Diseño Inverso*. Actualmente un elemento sólo puede ser parte de un *Grupo de Diseño Inverso*, aunque futuras versiones contemplarán la existencia de varios *Grupo de Diseño Inverso* de tipo *Diámetro Desconocido* y *Rugosidad Desconocida*, pudiendo un elemento estar en un solo grupo de cada tipo.

Para eliminar una conducción de un *Grupo de Diseño Inverso* se han dispuesto los botones *Devolver*, que están disponibles cuando se selecciona una conducción de sus listas correspondientes.



FIGURA 4. 41 Diseño Inverso.

Los grupos que vayamos creando van a ser representados en el mapa gráfico con diversos colores, magenta para los grupos cuyo ajuste vaya a ser la rugosidad y amarillo, para los del diámetro. Una vez definidos los grupos de diseño inverso, y aceptada la pantalla, GESTAR tendrá en cuenta los grupos formados. Así a la hora de mostrar los identificadores, si un elemento pertenece al grupo primero de los elementos a calcular con diámetro indeterminado, su identificador pasa directamente a ser (GD-1)X siendo X el antiguo identificador, si es del grupo dos pasará a ser (GD-2)X y así sucesivamente. De la misma manera, si la variable incógnita no es el diámetro sino la rugosidad, el identificador será (GR-1)X.

Cuando uno de estos elementos de diseño inverso, salga de uno de estos grupos por deseo expreso del usuario, los identificadores y colores del mismo volverán a ser los habituales para las conducciones.

4.3 AJUSTE AUTOMÁTICO

Con objeto de facilitar al usuario herramientas para realizar el ajuste de datos experimentales, a curvas de tipo

$$\Delta H = K_S \cdot Q^N \text{ (ajuste potencial)}$$

o de tipo

$$-\Delta H = A Q^2 + B Q + C \text{ (ajuste cuadrático)}$$

aparecen en las ventanas de la FIGURA 4. 29, la FIGURA 4. 27, y la FIGURA 4. 37 botones para el acceso a una utilidad de ajuste de pares de puntos (Q , ΔH) por el método de los mínimos cuadrados que tiene un funcionamiento idéntico en ambos casos.

El primer tipo de función corresponde a la modelización de pérdidas de carga singulares o ecuaciones de comportamiento de emisores. El segundo tipo se asocia al ajuste de curvas características de bombas.

Existen tres componentes por las que se accede a la ventana de ajuste:

- ◆ **Elemento Conducción:** Ventana *Añadir/ Modificar Pérdidas Singulares*; botón *Ajustar Ks y N* (FIGURA 4. 29).
- ◆ **Nodo Emisor:** Ventana *Existen Accesorios y/o Pérdidas*, botón *Ajustar Ks y N* (FIGURA 4. 27).
- ◆ **Elemento Bomba:** botón *Ajustar curva* (FIGURA 4. 37).

El caudal circulante, Q , se expresará en m^3/s , y la diferencia de altura piezométrica entre la entrada y la salida del elemento, ΔH , (ó $-\Delta H$ en el caso de bombas) en m , debiendo ambos valores ser positivos.

En el ajuste de pérdidas singulares, es necesario introducir, al menos, dos pares de puntos de caudal y altura para conseguir los valores de K_S y de N . Para las bombas de impulsión se necesitan al menos tres pares de puntos (ó dos si se desea que $B=0$) para poder calcular los tres parámetros, A , B y C .

En cualquiera de estos casos se abrirá la ventana de *Ajuste* semejante a la de la FIGURA 4.39, que corresponde al caso potencial (la correspondiente al caso polinómico es completamente similar):

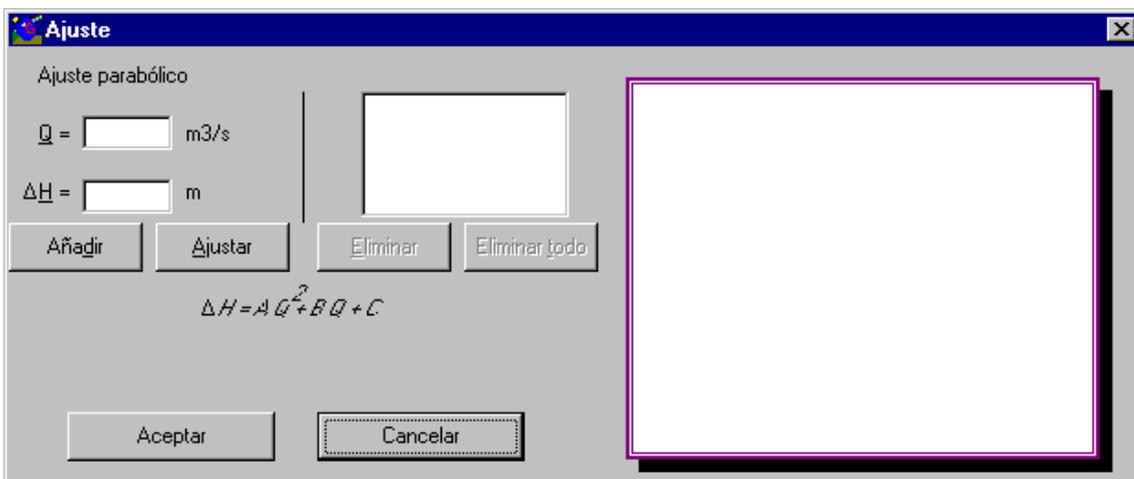


FIGURA 4. 42 Ventana de Ajuste (caso de Ajuste Potencial).

Se deberán introducir, en las casillas Q y ΔH uno a uno, todos los pares de puntos de caudal y altura y para cada uno de estos pares pulsar el botón *Añadir*. Se pueden añadir tantos puntos como sea necesario, con los mínimos expresados anteriormente y recordando que todos los valores han de ser positivos. Conforme se vayan incorporando los puntos, éstos irán apareciendo en una lista contigua, desde donde podrán ser borrados o modificados.

Una vez que ya se hayan añadido todos los pares de puntos deseados, se ha de pulsar el botón *Ajustar* para, por el método de los mínimos cuadrados, obtener los valores de los parámetros de las curvas correspondientes (según pérdidas singulares o bombas) y una representación gráfica de la curva y los puntos que la ajustan, tal como se ve en la FIGURA 4. 43.

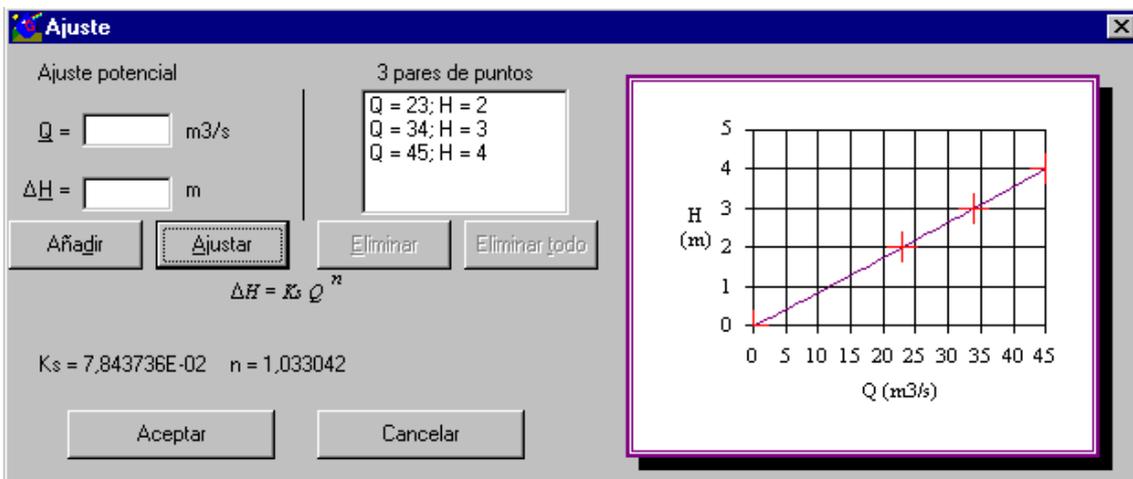


FIGURA 4. 43 Ventana de ajuste con gráfico.

Aún después de haber efectuado el ajuste, es posible modificar, borrar o añadir nuevos pares de puntos y volver a ajustarlos.

Después del ajuste, al pulsar el botón *Aceptar*, los parámetros de la curva calculada se pegarán automáticamente en las casillas correspondientes de los elementos o emisores (en el caso del ajuste potencial) o de las bombas de impulsión (ajuste parabólico).

Si se desea que la curva interpolada se aproxime mejor en un determinado rango a los puntos empíricos, puede aumentarse el peso de dicha zona en el ajuste por mínimos cuadrados introduciendo nuevos pares de puntos (ΔH , Q) en el sector deseado. La utilidad acepta la introducción múltiple de un cierto punto para aumentar su peso. Habitualmente se pretende encontrar el mejor ajuste en los regímenes de máximo rendimiento, donde presuntamente funcionará el grupo.

ATENCIÓN: Algunas bombas de tipo axial poseen una curva característica cuya forma cerca del origen no se ajusta a una expresión de tipo parabólico, por lo que quizá en tales casos deba renunciarse a un buen ajuste a lo largo de todo el rango de caudales, ajustando por separado, de ser necesario, el sector que corresponda al régimen simulado (caudales medios, mínimos o máximos). Cuando la curva ajustada presente comportamientos no deseados (valores del coeficiente B positivos, mala aproximación

en el régimen de trabajo,...) es conveniente suprimir algunos puntos que presumiblemente estén forzando el ajuste y/o añadir puntos en la zona de interés.

5. MENÚS DE PROGRAMA

El programa *GESTAR* presenta una serie de menús para su manejo que son el objeto del presente capítulo. El conocimiento y familiaridad que el usuario logre tener de éstos, junto con la utilización de la *Barra de Herramientas*, incidirán en un mejor aprovechamiento de los recursos del programa. Como se verá seguidamente, las opciones disponibles ofrecen un gran abanico de posibilidades a la hora del diseño y del cálculo, al mismo tiempo que presentan un manejo sencillo e intuitivo.

Las opciones de cada menú podrán aparecer activadas (color negro) o desactivadas (color gris) en función del resto de opciones que el programa *GESTAR* tenga operativas en ese momento. Algunos de las órdenes u opciones contenidas en los menús pueden ser ejecutadas mediante iconos en la barra de herramientas, en cuyo caso se remitirá a la descripción ya dada.

La barra completa de menús es la que se presenta en la FIGURA 5. 1:

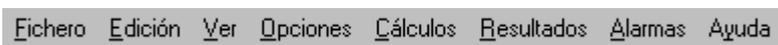


FIGURA 5. 1 Barra de Menús.

Las opciones correspondientes a cada menú se muestran en la siguiente lista, acompañadas de la combinación de teclas que las activa y de la página donde se detalla su funcionamiento:

MENÚ FICHERO	147
Red Nueva (CTRL + N)	147
Abrir digitalización...	148
Abrir Red (CTRL + O)	148
Abrir Resultados	148
Abrir informe de alarmas	149
Importar	149
Calcular base de datos	149
Cerrar Red	149
Guardar Red (CTRL + S)	149
Guardar como...	149
Exportar	150
Unir redes	150
Insertar fondo	151
Modificar bases de datos	151
Ajustar Página...	151
Imprimir...	151
Salir	152

MENÚ EDICIÓN **152**

Deshacer.../Imposible deshacer	152
Rehacer.../Imposible rehacer	152
Cortar (CTRL + X)	152
Copiar (CTRL + C)	152
Pegar (CTRL + V)	152

MENÚ VER **153**

Buscar (CTRL + F)	153
Escala...	153
Zoom	153
Visualización	154
Etiquetas	156
Ver flechas de sentido	156
Mostrar nodos (F5)	156
Mostrar elementos (F6)	156
Ver valores en nodos (F7)	156
Ver valores en elementos (F8)	156
Señalar números nodos y elementos (F9)	156
Leyenda	157

MENÚ OPCIONES **157**

Preferencias	157
Valores por defecto	158
Demanda aleatoria...	160
Modular consumos...	160
Abrir/Cerrar hidrantes...	161
Editar comentarios...	161

MENÚ CÁLCULOS **162**

Calcular (CTRL + E)	162
Recalcular (CTRL + R)	163
Automático (CTRL + A)	164
Parámetros...	164
Características...	166
Grupos diseño inverso...	170

MENÚ RESULTADOS **171**

Listado numérico...	171
Resultados en evolución	171
Código de colores (CTRL + L)	172

MENÚ ALARMAS **172**

Configuración...	173
Informe de alarmas	176
Niveles en balsas	177
Guardar casos críticos	177
Hidrantes desbordados	177
Cavitación de bombas	177

MENÚ AYUDA **177**

Ayuda	177
Acerca de GESTAR	178
Información	178
Novedades	178

5.1 MENÚ FICHERO

El menú *Fichero* está orientado principalmente a la interacción del programa con el exterior, permitiendo cargar y guardar datos, exportar e importar ficheros de otros programas, imprimir resultados y salir del programa.

La explicación detallada de algunas de las opciones de este menú se encuentra en los dos capítulos siguientes (*Cap. 6 Entrada de Datos y Salida de Resultados* pg.179 y *Cap. 7 Comunicación Externa* pg.207).

Red Nueva (CTRL + N)

Permite crear una red utilizando las herramientas y opciones implementadas en *GESTAR* para tal fin, de manera que el cursor actúa como un digitalizador con el que se introduce los nodos y elementos de la red. Se genera una nueva ventana *Mapa*, que contiene el conjunto de la red.

Aparecerá la ventana de diálogo de la FIGURA 5. 2, en la que se debe introducir el tamaño máximo del mapa, así como el porcentaje del mapa que se desea ver en pantalla en el momento de creación de la red. El esquema de la derecha indica las proporciones del mapa de la red y el porcentaje de área que se visualizará. Una vez creada la red, el porcentaje visualizado, el tamaño del mapa y el origen de coordenadas puede ser modificado mediante el menú *Ver/ Escala* (pág. 153).

Si desea que la representación en la pantalla del ordenador de la red se asemeje en sus proporciones a la realidad, adjudique las distancias máximas en el mapa en X e Y en la misma escala que la relación horizontal, vertical de su pantalla.

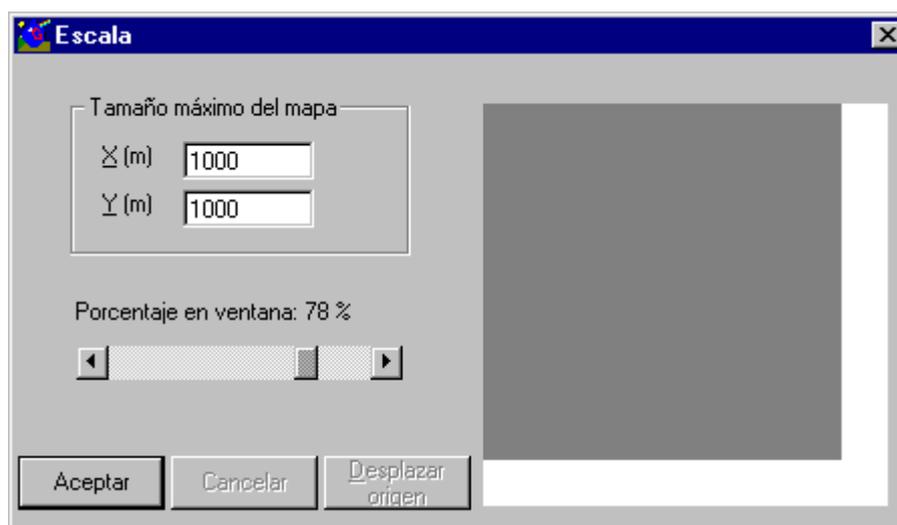


FIGURA 5. 2 Escala.

Más información sobre el comando *Red Nueva* en el *Capítulo 6*, pág. 179.

Abrir digitalización...

Ofrece la posibilidad de utilizar los datos procedentes de una digitalización de puntos exclusivamente obtenida mediante paquetes tipo *GIS/CAD*, guardados en un fichero *ASCII*, y trabajar a partir de ellos.

Para obtener más información acerca de esta opción, consultar el *Capítulo 6* de este manual (pág.179).

Abrir Red (CTRL + O)

Sirve para introducir en la ventana gráfica una red previamente guardada con la opción *Guardar Red*. Una vez introducida la red, ésta puede ser analizada y modificada con las herramientas de *GESTAR*.

Los ficheros que almacenan las redes guardadas con *GESTAR* tienen la extensión “.red”.

Abrir Resultados

Con esta opción es posible visualizar los resultados de cálculos de redes que hayan sido guardados con el botón *Guardar* de la ventana *Resultados* (ver pág. 171).

Los ficheros que almacenan los resultados de los cálculos de *GESTAR* tienen la extensión “.sal”.

Para imprimir un *fichero de resultados*, basta con abrirlo desde un procesador de textos e imprimirlo desde él.

Abrir informe de alarmas

Permite la apertura de los *Ficheros de Alarmas* guardados desde la ventana de *Alarmas* (ver pág.172). Los *Ficheros de Alarma* tienen la extensión *.ifa.

Importar

Permite, con la opción *Base de datos Access*, abrir redes guardadas en el formato de la aplicación (extensión “.mdb”) con la opción *Exportar/Base de datos Access*.

Además, la opción *Dimensionado Diopram* lee ficheros resultantes de la utilización de la aplicación *DIOPRAM* para el dimensionado óptimo de redes cuyos datos hayan sido previamente generados desde *GESTAR*.

Para obtener más información acerca de estas dos opciones, consultar el *Capítulo 7* de este manual, pág. 207.

Calcular base de datos

Permite calcular una red de *GESTAR* guardada en formato de base de datos.

Para obtener más información acerca de esta opción, consultar el *Capítulo 7* de este manual (pág.207).

Cerrar Red

Cierra la red que se encuentra en la ventana gráfica. Si ésta red no ha sido guardada, el programa preguntará si se desea hacerlo.

Los ficheros que almacenan las redes guardadas con *GESTAR* tienen la extensión “.red”.

Guardar Red (CTRL + S)

Al activar esta opción, la red que aparece en la ventana gráfica actual será guardada directamente con el nombre y la ubicación actuales. En el caso de tratarse de una red nueva, deberán especificarse ambas características del fichero en el cuadro de diálogo que aparecerá.

Guardar como...

Permite guardar la red con cualquier nombre especificado por el usuario (opción útil para crear redes que se diferencian muy poco unas de otras).

Exportar

Gracias a esta opción, es posible la comunicación de *GESTAR* con las aplicaciones *ACCESS*, *EPANET* y *DIOPRAM*.

Para obtener más información acerca de esta opción, consultar el *Capítulo 7* de este manual (pág.207).

Unir redes

Este comando permite crear una red de *GESTAR* partiendo de otras dos ya existentes. Las redes a unir deberán haber sido guardadas previamente.

Al activar el comando *Unir Redes*, se deberán especificar las rutas de los dos ficheros de red a unir y del fichero resultante (FIGURA 5. 3).

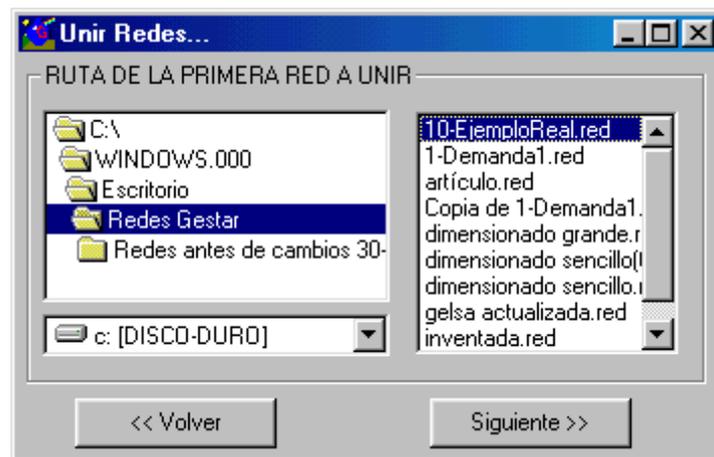


FIGURA 5. 3 Ventana Unir Redes

Tras seleccionar las rutas de las dos redes a unir, se ofrece la posibilidad (FIGURA 5. 4) de determinar una cadena de texto (hasta un máximo de 4 caracteres) para cada una de las dos redes iniciales, de modo que las etiquetas de los componentes de la red resultante quedarán precedidas por la cadena correspondiente a su red de origen.

Tras unir dos redes, un mensaje informará de la creación del fichero de red resultante.

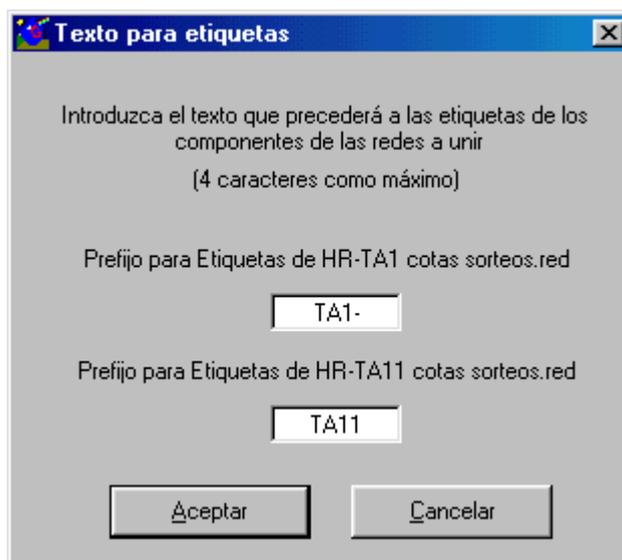


FIGURA 5. 4 Texto para etiquetas de redes a unir

Insertar fondo

Permite utilizar un fichero de imagen como fondo de la ventana gráfica de GESTAR. Los tipos de ficheros de imagen permitidos son “*.bmp”, “*.gif” y “*.jpg”.

Cuando se ha insertado un fondo en la red, este comando permite eliminarlo (*Quitar Fondo*).

Dimensionado de la Red

El funcionamiento de este comando es equivalente al del botón *Dimensionado de la Red* de la *Barra de Herramientas* (ver pág. 69)

Modificar bases de datos

GESTAR ofrece la posibilidad de hacer el mantenimiento de todo el sistema de bases de datos (tuberías, válvulas, accesorios y emisores) desde el propio programa, sin necesidad de tener que recurrir a ACCESS.

El procedimiento sobre cómo hacerlo está detallado en el *Anexo V*, pág. 271.

Ajustar Página...

Con esta opción se permite especificar, de cara a una impresión posterior, la impresora, el tipo de papel, el origen de la alimentación y la orientación del papel.

Imprimir...

Imprime el contenido actual de la ventana gráfica. En el caso de no existir ventana gráfica, no realizará impresión alguna.

Previamente se abre una ventana en la que se debe especificar la impresora y el número de copias a imprimir. Al pulsar el botón *Aceptar*, el sistema procederá a la impresión con estos parámetros y con los especificados en la opción previa *Ajustar página*.

Para la impresión de los resultados de los cálculos, deberá utilizarse el botón *Imprimir* de la ventana *Resultados*.

Salir

Cierra el programa *GESTAR*, tras preguntar, en el caso que proceda, si se desean guardar los cambios de la red actual.

5.2 MENÚ *EDICIÓN*

El menú de *Edición* permite, cortar, copiar y pegar algunos tipos de nodos y elementos, además de deshacer o volver a rehacer algunas de las acciones que realicemos en *GESTAR*.

Deshacer.../Imposible Deshacer

Esta opción equivale a la ya descrita en la página 67, para el icono .

Rehacer.../Imposible Rehacer

Esta opción equivale a la ya descrita en la página 67, para el icono .

Cortar (CTRL + X) Esta opción equivale a la ya descrita en la página 66.

Copiar (CTRL + C)

Esta opción equivale a la ya descrita en la página 67.

Pegar (CTRL + V)

Esta opción equivale a la ya descrita en la página 67.

5.3 MENÚ VER

El menú *Ver* permite realizar operaciones que afectan exclusivamente a la visualización de objetos en la ventana *Mapa* así como la cualificación de alguno de sus atributos.

Buscar (CTRL + F)

Esta opción equivale a la ya descrita en la pág. 68, para el icono .

Escala...

Para modificar la escala, tamaño y origen de coordenadas de la ventana *Mapa* se selecciona *Escala*, apareciendo el cuadro de diálogo correspondiente a la FIGURA 5. 2, pág. 148. El porcentaje del total del mapa visualizado y las dimensiones máximas del mapa pueden actualizarse. Si las nuevas dimensiones excluyen parte del trazado existente, esta zona no será representada aunque internamente se guardarán todos los componentes de la red.

Cuando se modifica el porcentaje visualizado la imagen que se muestra tiene como origen la parte superior izquierda de la pantalla. La modificación del porcentaje visualizado equivale al uso de los iconos *Zoom* (pág. 68) salvo en lo referente al control de la zona ampliada.

Cabe la posibilidad de desplazar el origen de coordenadas respecto de la red pulsando el botón *Desplazar origen*. Aparecerá una nueva ventana (FIGURA 5. 5) en la que habrá que especificar tanto el *Desplazamiento Horizontal* como el *Desplazamiento Vertical* del origen respecto al origen anterior. Un desplazamiento positivo indica un acercamiento del origen hacia la red, mientras que un desplazamiento negativo indica un alejamiento del origen de la red. Se impiden desplazamientos que supongan obtener nodos con coordenadas negativas respecto al nuevo origen.



FIGURA 5. 5 Desplazamiento de origen

Zoom

Acerca (*In*) o aleja (*Out*) la imagen en etapas que suponen un decremento o incremento del 50% del área visualizada. Cuando se ha activado la opción *Zoom In*, es

posible el desplazamiento por el mapa utilizando el "scroll" de la ventana gráfica. En la reducción/ampliación del área visualizada, se mantiene como punto fijo el centro de la imagen anterior.

Visualización

Seleccionando la opción *Visualización* se despliega la ventana de propósitos múltiples *Preferencias* mostrada en la FIGURA 5. 6, que posee con un total de seis pestañas, y que siendo llamada desde diversos Menús establece los valores por defecto opciones generales del programa.

La pestaña *Visualización* atañe exclusivamente a las opciones de representación.

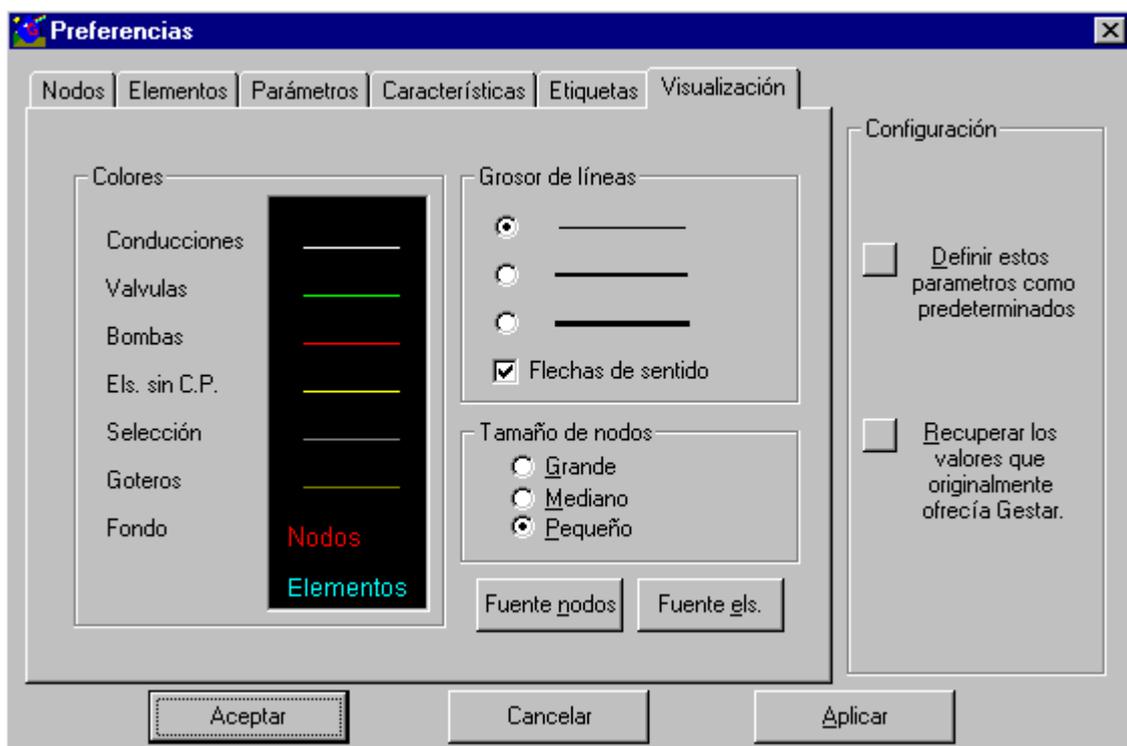


FIGURA 5. 6 Preferencias/ Visualización.

Se puede cambiar el color de fondo y la codificación mediante colores de las líneas que representan los diversos tipos de elementos cuando no se muestran resultados a través de la ventana que se muestra en la FIGURA 5. 7, que aparece al pulsar sobre las mismas líneas o sobre el texto de los componentes (*Conducciones*, *Válvulas*, *Bombas*, *Elementos sin Característica Pasiva*, *Selección* y *Fondo*). Además, se puede cambiar el tipo y tamaño de las fuentes de los textos asociados tanto de nodos, botón *Fuente Nodos*, como de elementos, botón *Fuente els.* (FIGURA 5. 8). El grosor de líneas y nodos, puede elegirse entre tres opciones preestablecidas. Finalmente, puede optarse por la visualización o no de flechas que indican el sentido del flujo en las conducciones en función de los resultados del cálculo de la red. (casilla *Flechas de sentido*).

Estas opciones que nosotros cambiamos, se pueden dejar como predeterminadas para otras veces o podemos volver a los parámetros definidos inicialmente por GESTAR (recuadro *Configuración*).

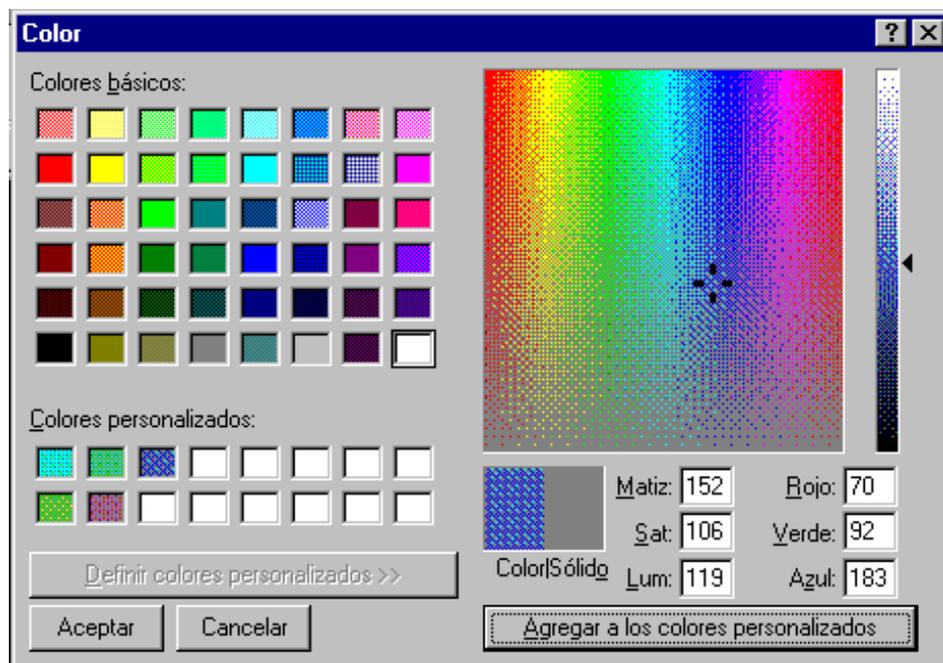


FIGURA 5. 7 Color.

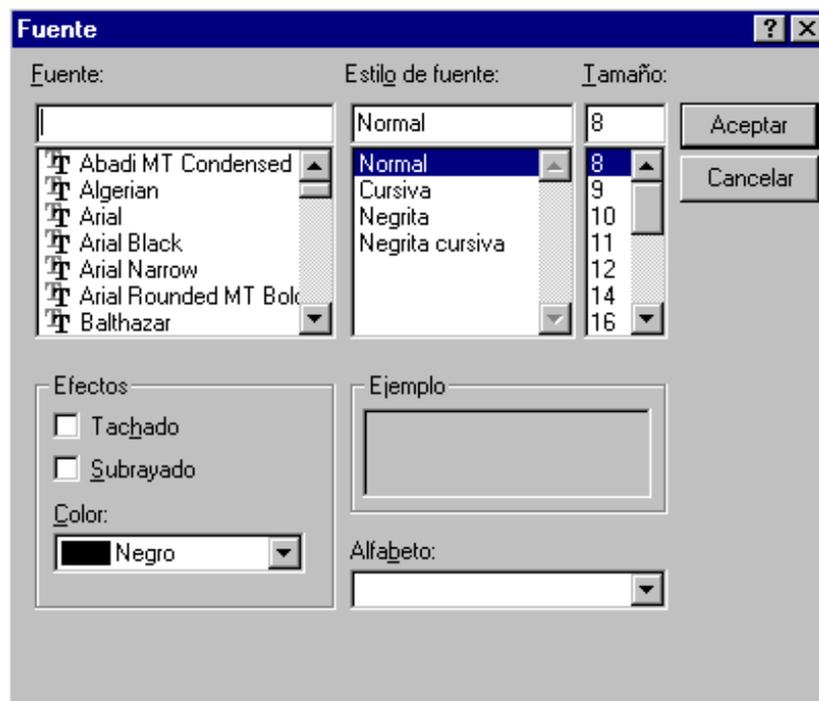


FIGURA 5. 8 Fuente de texto de elementos

Etiquetas

Esta opción nos permite abrir la ventana *Preferencias* descrita antes, en la pestaña *Etiquetas*. Desde aquí podemos cambiar los prefijos que *GESTAR* pone por defecto al crear un nodo o elemento en el campo *Identificativo* de su ventana de definición (FIGURA 5. 9).

Ver flechas de sentido

Al activar esta opción, en la salida gráfica de los resultados de cualquier simulación se mostrará en cada elemento de la red calculada una flecha que indica el sentido de circulación del fluido.

Mostrar nodos(F5)

Muestra u oculta los iconos de *Consumo Conocido*, *Unión*, *Hidrantes Reguladores* y *Emisores* en el ventana *Mapa*. El resto de tipos de nodos, que suelen coincidir con puntos de alimentación de la red, se muestran permanentemente.

Mostrar elementos (F6)

Muestra u oculta los iconos asociados a los elementos en la ventana *Mapa*. Incluso cuando los iconos no se muestran la codificación mediante colores de los diversos tipos de elementos permite la identificación de éstos mientras no se muestran resultados.

Ver valores en nodos (F7)

Esta opción equivale a la ya descrita en el *Capítulo 4*, pág. 95, para el icono .

Ver valores en elementos (F8)

Esta opción equivale a la ya descrita en el *Capítulo 4* pág. 96, para el icono .

Señalar números nodos y elementos (F9)

Cuando esta opción se encuentra activada, cada vez que el ratón se sitúa unos instantes sobre un nodo o elemento aparecerá una ventana donde se especifica el tipo de nodo o elemento y su identificativo. Tal característica puede utilizarse para asegurar la correcta selección de un nodo o elemento o para confirmar el identificador de los mismos cuando se visualiza otra variable numérica.

Leyenda

Permite disponer sobre pantalla de la leyenda del código de colores correspondiente a la salida gráfica de resultados, tanto para nodos como para elementos. La información completa referente a la salida de resultados se encuentra recogida en la pág. 189.

5.4 MENÚ *OPCIONES*

Preferencias

Eligiendo la opción *Preferencias* del menú *Opciones* se accede a la ventana mostrada en la FIGURA 5. 6 (pág. 154) con un total de seis pestañas, pulsando sobre cada una de estas pestañas se despliega una sub-ventana diferente. Esta multi-ventana permite definir los valores por defecto de los parámetros que obligatoriamente hay que especificar en los componentes de la red, los parámetros de control de convergencia y precisión del módulo de cálculo, y, finalmente, las opciones de cálculo y visualización. Cada una de estas sub-ventanas son llamadas por nuevas órdenes más específicas de la barra de *Menús*, por lo que su contenido es descrito en las llamadas específicas de las sub-ventanas.

Se listan las sub-ventanas de *Preferencias* junto a la página en que se documenta su contenido:

- ◆ **Nodos.** Establece los valores por defecto de todos los parámetros relativos a los nodos. Se llama específicamente desde *el Menú: Opciones/ Valores por Defecto/ Nodos*, pág. 158, FIGURA 5. 10.
- ◆ **Elementos.** Establece los valores por defecto de todos los parámetros relativos a los elementos. Se llama específicamente desde *el Menú: Opciones/ Valores por Defecto/ Elementos*, pág. 158, FIGURA 5. 11.
- ◆ **Parámetros.** Establece los parámetros relativos al control de la convergencia, estabilidad y precisión del motor de cálculo de las redes *NETCAL*. Se llama específicamente desde *el Menú: Cálculos/ Parámetros*, pág. 164, FIGURA 5. 15.
- ◆ **Características.** Determina las propiedades del fluido que circula por la red, así como el tipo de formulación para el cálculo de pérdidas. Se llama específicamente desde *el Menú: Cálculos/ Características*, pág. 166, FIGURA 5. 16.
- ◆ **Etiquetas.** Muestra los prefijos por defecto de etiquetas de nodos y elementos. Se llama específicamente desde *el Menú: Ver/ Etiquetas*, pág.128, FIGURA 5. 9.

- ♦ **Visualización.** Establece las opciones por las que los componentes de la ventana gráfica se muestran al usuario. Se llama específicamente desde el *Menú: Ver/ Visualización*, ver pág. 154, FIGURA 5. 6.

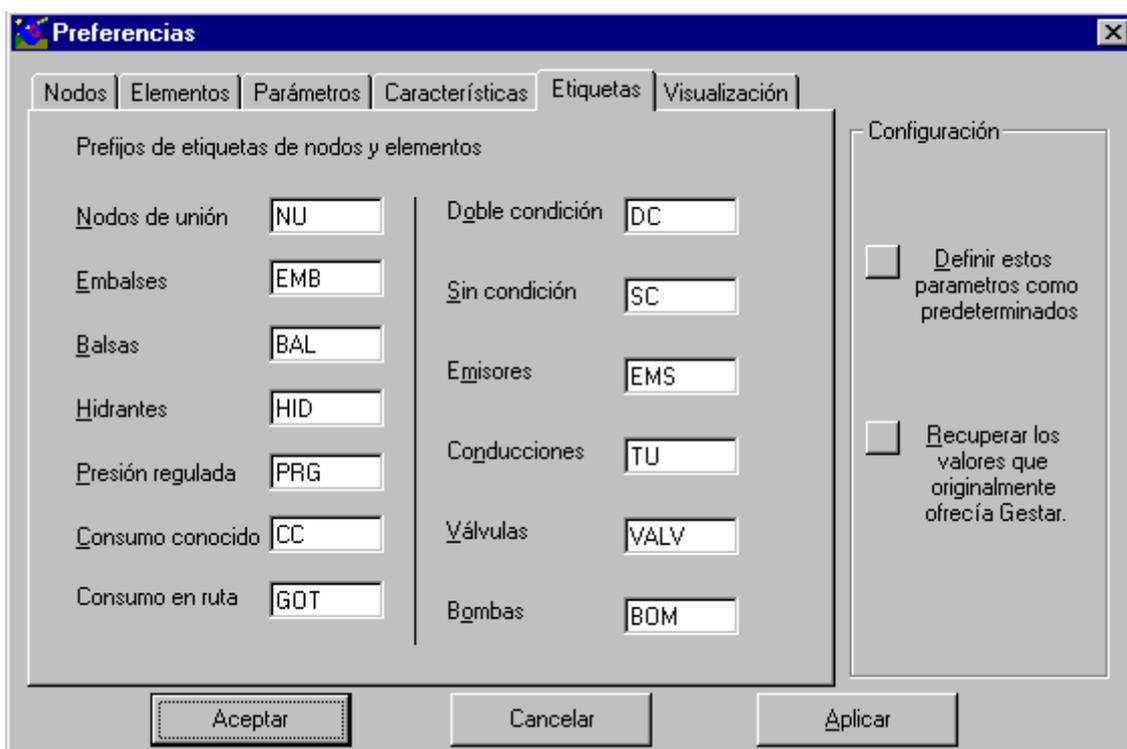


FIGURA 5. 9 Ventana Preferencias/ Etiquetas.

Todas estas opciones que nosotros cambiamos, en cualquiera de las pestañas se pueden dejar como predeterminadas para otras veces o podemos volver a los parámetros definidos inicialmente por GESTAR (recuadro *Configuración*). Además antes de aceptar y salir de esta ventana, en algunos casos tendremos la posibilidad de ver como queda nuestro cambio (botón *Aplicar*), por si acaso no nos gusta y queremos modificar algo.

Valores por defecto

La opción *Valores por defecto* del menú *Opciones* facilita la creación de componentes de la red mediante la asignación de una serie de valores característicos que aparecerán por defecto a la hora de **crear un nuevo nodo o un elemento**. GESTAR suministra valores por defecto que el usuario puede modificar en estas ventanas para la creación de componentes. Además tenemos la opción de conservar estos valores definidos por el usuario para posteriores definiciones, y la opción de volver a los valores predefinidos por GESTAR (recuadro *Configuración* de la ventana *Preferencias*).

ATENCIÓN: Cuando se cambia un nodo de un tipo a otro, los valores que aparecen en las casillas de las nuevas variables a definir no corresponden a los valores por defecto establecidos en esta sección si no a los valores existentes en la casilla

correspondiente del último nodo abierto o creado en cuya definición interviene la variable.

Si se selecciona *Valores por defecto/ Nodos* el cuadro de diálogo que presenta el programa viene recogido por la FIGURA 5. 10, permitiendo establecer por defecto la cota de los nodos, la altura de presión y la dotación en los nodos de nueva creación que requieran de dichas variables. Los valores por defecto de la *Pendiente*, *Sección* y niveles inicial, máximo y mínimo precisos para especificar los nodos de tipo *Balsa* se incorporan aquí. También se pueden introducir los valores que se deseen adjudicar por defecto en los *Hidrantes Reguladores*: *Presión de Consigna*, valor de los coeficientes *Ks* tanto para el hidrante como para la parcela y el valor del coeficiente *N* (ver *Capítulo 4* en los apartados *Nodo de Consumo Conocido*, pág. 104, e *Hidrante Regulador*, pág. 107), además de los valores que relacionan la *Probabilidad* de apertura y la *Dotación* (*Superficie Regada*, *Caudal Ficticio Continuo* y *Rendimiento*).

FIGURA 5. 10 Preferencias/ Nodos.

La selección de *Valores por defecto / Elementos* muestra la ventana de diálogo de la FIGURA 5. 11, permitiendo definir el diámetro y la rugosidad que aparecerán por defecto cuando se cree un elemento. También se elige, en la casilla *Abrir al Crear*, si se desea o no que cada vez que se cree una nueva conducción se abra automáticamente la ventana donde se especifican sus datos. Además, en esta ventana de diálogo se deben introducir los valores por defecto tanto para *Bombas* y *Válvulas Reguladoras* como para *Emisores* y *Gotos*. Para las bombas, el *Diámetro* interior en la brida de aspiración y las constantes *A*, *B* y *C* de la ecuación polinómica de la curva característica suministrada por el fabricante que representa el comportamiento del elemento $H_B(Q)$ de la forma:

$$-\Delta H = H_B(Q) = A Q^2 + B Q + C$$

Para las *Válvulas Reguladoras*, el *Diámetro* de la válvula, el coeficiente *Ks* para la válvula completamente abierta, la *Presión de Consigna* y el *Caudal Límite de Consigna*. Para los *Emisores* la *Cota* del punto de emisión, el *Diámetro* y la *Rugosidad* de conducto de alimentación del *Emisor* y para los *Gotos* el *Diámetro* y la *Rugosidad* del elemento y la *Distancia que hay entre los emisores del gotero*.

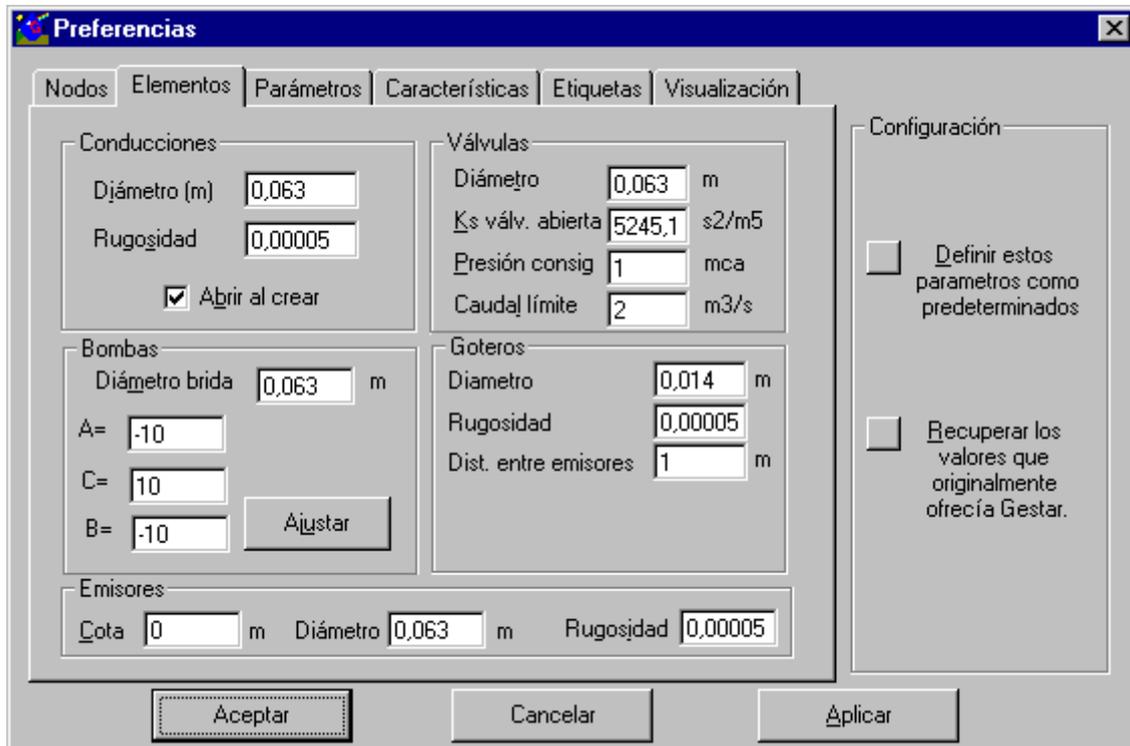


FIGURA 5. 11 Preferencias/ Elementos.

Demanda aleatoria...

Permite establecer de forma aleatoria escenarios globales de apertura y cierre de los hidrantes que no estén desactivados. Esta opción equivale a la ya descrita en el *Capítulo 4* pág. 78, para el icono .

Modular consumos...

La opción *Modular Consumos...* permite multiplicar los valores de la variable *Dotación* y *Demanda* en todos los nodos de la red de tipo *Consumo Conocido* e *Hidrante Regulador* por el factor especificado dentro del cuadro de diálogo (FIGURA 5. 12) que aparece al seleccionar esta función.



FIGURA 5. 12 Modular Consumos.

Abrir/Cerrar hidrantes...

La opción *Abrir/ Cerrar hidrantes* (FIGURA 5. 13) establece el estado de los nodos susceptibles de modelar hidrantes (*Nodos de Consumo Conocido* y *Nodos Hidrantes Reguladores*) en abierto o cerrado según la instrucción elegida y ejecutada mediante la opción *Abrir* (ó *Cerrar*) que **actúa sobre el nodo cuyo identificador es dado en la casilla *Hidrante ID***, Además, existe la posibilidad de avisar si el hidrante introducido no existe.

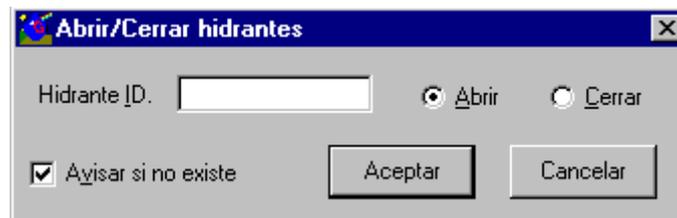


FIGURA 5. 13 Abrir Cerrar Hidrantes.

Los estados de cierre o apertura dados con esta opción están sujetos a las restricciones fijadas por el botón  descrito en la pág. 99. Por tanto, la instrucción dada por esta ventana no se hará efectiva si contradice el estado configurado por *Apertura/ Cierre Incondicional*. Los hidrantes abiertos o cerrados mediante esta instrucción se encuentran en operaciones posteriores sujetos a la misma operativa que cualquier otro hidrante (pueden ser sorteados mediante el icono , abiertos/ cerrados mediante el icono , restringidos mediante el icono ).

Editar comentarios...

La opción *Editar comentarios...* (FIGURA 5. 14) permite modificar los comentarios que se hayan introducido en la ventana gráfica de la red actual mediante el botón  (pág. 98) de la barra de herramientas, para después modificarlos, cambiarlos de ubicación, hacerlos visibles o no visibles o eliminarlos.



FIGURA 5. 14 Comentarios.

En esta ventana *Comentarios* aparecen, en el recuadro inferior, todos los textos introducidos con el botón *Comentarios*. Para editar uno de ellos, basta con seleccionarlo haciendo "clic" sobre él. Al hacerlo, pasará al recuadro superior, desde donde se puede modificar su contenido (reescribiendo el texto), la posición de su origen (modificando las casillas X e Y) y la fuente utilizada (botón *Fuentes*). La casilla *Visible* permite decidir si un comentario aparece o se oculta en la ventana gráfica. El botón *Eliminar* borra el texto que se haya seleccionado en la arte superior de la ventana *Comentarios*.

Las operaciones de edición realizadas deben ser confirmadas mediante el botón *Modificar* para que tengan efecto. El botón *Aceptar* cierra la ventana *Comentarios*.

5.5 MENÚ CÁLCULOS

El *Menú Cálculos* contiene las opciones para ejecutar la simulación configurada previamente y controlar la convergencia de la resolución numérica. En él se accede también a ventanas que controlan las características del fluido que circula por la red en régimen incompresible y la formulación de pérdidas de carga en conductos que se desea emplear, que debe estar en consonancia con el tipo de rugosidad introducida en los elementos.

Calcular (CTRL + E)

Esta opción se describe en la descripción del botón *Calcular*  de la barra de herramientas, pág. 90.

Recalcular (CTRL + R)

Una vez calculado un escenario simple mediante el botón , si se selecciona en el menú *Cálculos* la opción *Recalcular*, al realizar un nuevo cálculo de escenario el proceso iterativo de solución del sistema (2.6) se inicializa con los resultados del cálculo anterior. Por otra parte, si se realiza el cómputo de una *Evolución Temporal* con la opción *Recalcular* seleccionada, en cada paso temporal a partir del primero se inicializará el cálculo de la solución del nuevo paso temporal con los resultados del intervalo anterior. Lo mismo ocurre con el cálculo de escenarios consecutivos en la opción *Sorteos Encadenados*.

El empleo de esta opción permite la reducción del número de iteraciones necesarias para alcanzar la convergencia a la solución de cada escenario, puesto que si los valores de partida se encuentran próximos a la solución del escenario actual, la convergencia del algoritmo *Newton -Raphson* es muy superior. No obstante, hay que advertir que, para que esta supuesta ventaja se haga patente, el nuevo escenario calculado en base a un escenario anterior debe ser relativamente semejante al que utiliza como valor de partida. Es decir, el nuevo escenario no debe contener cambios radicales, pues de lo contrario la solución previa puede estar tan alejada del escenario actual como una solución arbitraria.

En consecuencia, la opción *Recalcular* tiene una serie de restricciones para su aplicación, de tal manera que si estas no se cumplen, los resultados previos se ignorarán, procediéndose a inicializar el proceso como si estuviera activa la opción *Calcular*.

Así, por ejemplo, **dos escenarios se encontrarán relativamente próximos si se realizan cambios en la red que no afecten a su topología** como abrir o cerrar hidrantes, cambia cotas, alterar la longitud de elementos, etc. Si se introducen o eliminan nodos o elementos, las variables correspondientes a los nuevos componentes no se encontrarán definidos en absoluto, con lo cual la opción *Recalcular* ya no estará operativa hasta que se vuelva a calcular la red.

Las únicas operaciones válidas, tanto para nodos como para elementos, que aceptan la opción de *Recalcular* son:

◆ Nodos:

- Cambiar las coordenadas *X* e *Y*.
- Cambiar la *Cota*.
- Cambiar la *Dotación*.
- Cambiar la *Demanda* instantánea.
- Cambiar la *Altura de Presión*.

◆ Elementos:

- Cambiar la *Longitud*.
- Cambiar el *Diámetro*.
- Cambiar el *Parámetro de Rugosidad*.

Entre las operaciones que, además del cambio de topología, no serán válidas (en prevención de comportamientos distintos de la red antes y después de los cambios) se encuentran:

- ◆ Nodos:
 - Cambiar el tipo de nodo.
- ◆ Elementos:
 - Añadir o eliminar *Válvulas de Seccionamiento*.
 - Modificar, añadir o eliminar *Válvulas de Retención*, *Válvulas de Estrangulamiento*, *Accesorios* y *Pérdidas Singulares*.

Cualquier cambio en *Válvulas Regulatoras*, *Bombas de impulsión* y *Elementos Indeterminados*.

Como se observará, en las *Evoluciones Temporales*, los cambios entre un instante y otro son esencialmente debidos a cambios en la apertura de hidrantes, por lo que la opción *Recalcular* será siempre adecuada.

Automático (CTRL + A)

Si en el menú *Cálculos* está seleccionada la opción *Automático*, cada vez que se introduzcan cambios sobre el Mapa del escenario de una red ya calculada (cambios que no afecten a su topología y que se encuentren sujetos a mismas restricciones de la opción *Recálculo*) se ejecutará un *Recálculo* del escenario en cuanto se acepta la modificación en la ventana correspondiente, sin necesidad de activar el comando

Calcular (icono )

Asimismo en la opción *Cálculos/ Automático* se procederá a un *Recálculo* automático cada vez que

- Se abra o cierre un hidrante con la herramienta *Abrir/Cerrar Hidrantes* .
- Se realice un *Sorteo* con el botón *Aplicar* de la ventana *Sorteo Aleatorio*, (pág. 80).

Esta opción del *Menú Cálculos* confiere un alto grado de interactividad entre el programa y el usuario que va encontrando resultados refrescados tan pronto como formula los cambios.

Parámetros...

Permite modificar una serie de parámetros que controlan la inicialización del proceso iterativo de resolución del sistema (2.6), la convergencia y la precisión de los resultados. El cuadro de diálogo al seleccionar esta opción es el que se recoge en la FIGURA 5. 15.



FIGURA 5. 15 Preferencias/ Parámetros.

Este bloque de parámetros viene configurado por defecto y para su modificación, en caso de ser necesario, es recomendable poseer una cierta experiencia en el manejo del programa y en el cálculo de redes con objeto de modificarlo con seguridad y hacer un uso eficiente del mismo. Los parámetros precisos son los siguientes:

- ◆ Máximo número de iteraciones. Aconsejable: 20. En análisis inverso: 50.
- ◆ Tipo de error dinámico (en caudales o en alturas). Aconsejable en alturas.
- ◆ Error dinámico. Aconsejable 0.01 m
- ◆ Tolerancia adimensional del residuo. Aconsejable: 0.0001
- ◆ Tipo de inicialización. Aconsejable en velocidad, con punto medio de bombas.
- ◆ Valor de inicialización. 1 m/s
- ◆ Coeficiente de relajación. Aconsejable 0.5
- ◆ Coeficiente de condicionamiento(*KCL*). Aconsejable igual o inferior a 0.1

En el *Anexo VII* (pág. 281) se ofrece una descripción más detallada de cada uno de estos parámetros. Se recomienda una lectura atenta de los mismos una vez realizado un primer contacto con el programa.

ATENCIÓN: De entre los valores anteriores, es el *Coficiente de Condicionado KCL* el que resulta de mayor importancia para garantizar el buen funcionamiento de *GESTAR*. Sus valores se sitúan en el rango (0,1). Conforme *KCL* crece el número de ecuaciones que se resuelve es menor, y en consecuencia, el tiempo de cálculo de cada iteración se reduce, pero el número de iteraciones puede incrementarse debido a una mayor inestabilidad del proceso iterativo. Al contrario, si *KCL* se reduce, el número de ecuaciones que se resuelven aumenta, así como el tiempo de cada iteración, pero el sistema es más estable y converge en menos iteraciones.

Un valor recomendado en la mayor parte de las ocasiones para *KCL* es 0.1. Siempre que se supere el número de iteraciones máximo establecido para la convergencia (habitualmente inferior a 20) se recomienda reducir *KCL* en un orden de magnitud adicional. En caso necesario puede reducirse *KCL* hasta un valor nulo con objeto de garantizar al máximo la convergencia.

También en esta ventana existe la posibilidad de crear fichero de iteraciones donde se vuelcan los resultados intermedios del proceso de cálculo. Tal información sólo es de utilidad para los programadores de *GESTAR* en las fases de depuración y ajuste del motor de cálculo *NETCAL*, por lo que no presenta interés para el usuario habitual.

Características...

Con esta opción se establecen las propiedades físicas del fluido circulante, supuestas constantes en toda la red, así como el tipo de formulación para las pérdidas de cargas continuas, que se va a emplear. También permite incluir el cálculo automático de las pérdidas en bifurcaciones.

Se va a explicar cada una de las partes de la ventana correspondiente a esta acción del menú de *Programas* (FIGURA 5. 16):



FIGURA 5. 16 Preferencias/ Características.

◆ Datos del Fluido.

Aparecerá una ventana de diálogo (FIGURA 5. 16), en la que en el bloque de la izquierda, *Datos del fluido*, se define, para el fluido circulante a la temperatura de trabajo, los valores de la *viscosidad* del fluido, μ , su *densidad*, ρ , y presión de vapor P_v , en unidades correspondientes al *Sistema Internacional*. Los valores que aparecen por defecto corresponden al agua a temperatura de 15°C.

Debajo tenemos el botón *Base de datos de fluidos*. Éste nos introducirá a una ventana (FIGURA 5. 17) desde la cual podremos acceder a clases de fluidos que tengamos guardados para poner directamente sus datos en las casillas correspondientes de la ventana *Preferencias/ Características*. En esta ventana tendremos una base de datos, para: introducir nuevos fluidos, botón *Agregar*, quitar fluidos de la base, botón *Eliminar*, después de haberlo seleccionado en la tabla, y poner los datos del fluido que queramos en nuestra ventana principal, botón *Aceptar*.

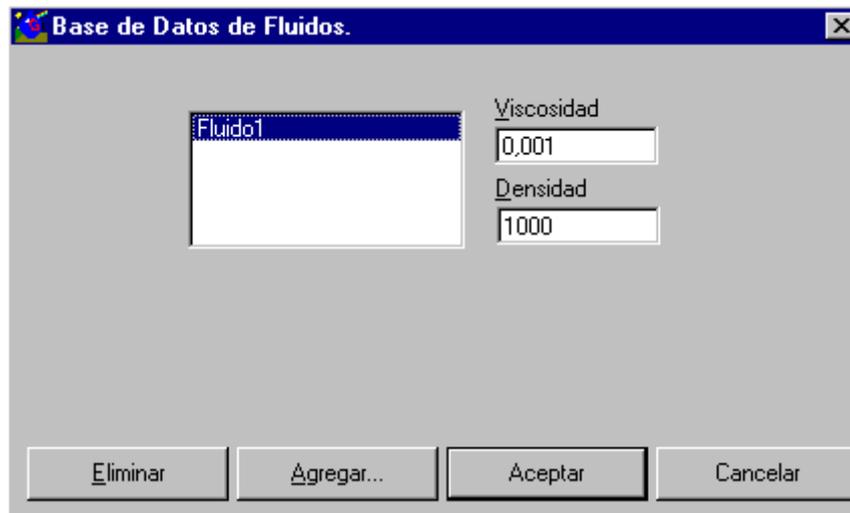


FIGURA 5. 17 Base de datos de fluidos

◆ **Formulación para cálculo de pérdidas.**

En el bloque de la derecha, *Formulación para cálculo de pérdidas*, se elegirá una de las formulaciones de evaluación de las pérdidas de carga continuas en las conducciones, de entre las que se ofrecen.

MUY IMPORTANTE: En función de la formulación seleccionada, se establece el parámetro que se deberá introducir en casilla *Factor de Rugosidad* que se define en las *Conducciones*, pág. 116, y *Emisores*, pág. 112.

¡¡SEA CONSISTENTE EN LA DEFINICIÓN DE LA FORMULACIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA CONTINUAS Y EN LA ESPECIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE RUGOSIDAD EN TODOS LOS ELEMENTOS!!

El número de *Reynolds* del conducto se evalúa como $Re = \rho VD/\mu$. Seguidamente se identifican las formulaciones que se ofrecen y el significado del *Factor de Rugosidad* correspondiente a cada caso.

- ◆ **Laminar.** Usa la formulación *Darcy-Weisbach* para el cálculo de pérdidas pero con $\lambda = 64/Re$ (el *Factor de Rugosidad* tendrá un **valor arbitrario no nulo**).
- ◆ **Hazen-Williams.** El *Factor de Rugosidad* corresponde a los valores de C_H , dados en tablas; esta formulación sólo es válida para agua. La pérdida de carga se calcula mediante la expresión:

$$V = 0,355C_H D^{0,63} (\Delta H/L)^{0,54} \text{ que equivale a } \Delta H/L = \frac{10,376 Q^{1,85}}{C_H^{1,85} D^{4,86}}$$

- ◆ **Laminar + Hazen-Williams.** La pérdida de carga se calcula como **Hazen-Williams** excepto si $Re < 2000$, en que los cálculos se efectúan como en **Laminar**.

- ◆ **Blasius.** El *Factor de Rugosidad* tendrá un valor de $C = \left(\frac{2g}{0,13164} (\rho/\mu)^{1/4} \right)^{4/7} = 75$ para el agua. El elemento se modela como un tubo liso. La formulación utilizada es:

$$V = \left(\frac{2g}{0,13164} (\rho/\mu)^{1/4} \right)^{4/7} D^{5/7} (\Delta H/L)^{4/7} \text{ que equivale a } \Delta H/L = C \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

- **Manning.** El *Factor de Rugosidad* adoptará los valores de n dados en tablas. Se utiliza en condiciones de *régimen turbulento rugoso*. Los cálculos se realizan mediante:

$$V = \frac{0,4D^{2/3} (\Delta H/L)^{1/2}}{n} \text{ que equivale a } \Delta H/L = \frac{10,3 n^2 Q^2}{D^{5,33}}$$

- **Darcy-Weisbach, λ según Colebrook.** El *Factor de Rugosidad* será la rugosidad absoluta en metros. Se emplea la siguiente formulación:

$$\Delta H = \lambda(Re, \varepsilon) \frac{L V^2}{D 2g} \text{ con } \lambda^{-1/2} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right), \quad e = rug/D$$

- **Laminar + Darcy-Weisbach, λ según Colebrook.** Los cálculos se realizarán como **Darcy-Weisbach, λ según Colebrook** excepto si $Re < 2000$, en que se procederá como en **Laminar**.

- **Otras Monómicas*.** Definidas por el usuario. No disponible en esta versión.

En la casilla *Factor de Rugosidad* de los *Elementos Conducción*, pág. 116, y *Emisores*, pág. 112, aparece un texto que recuerda la formulación que se ha seleccionado y el tipo de factor a introducir.

ATENCIÓN: Si se cambia la formulación de pérdidas de carga, los *Factores de Rugosidad* introducidos en los *Elementos Conducción* y *Emisores* ya creados **no se traducen a la nueva formulación**, si no que permanecen tal y como ha sido definidos inicialmente. Tenga precaución de no mezclar definiciones del *Factor de Rugosidad* distintos para distintos elementos.

En caso de que desee realizar un cambio de formulación, proceda a encontrar primero las equivalencias aproximadas entre los antiguos y nuevos valores y haga uso de la opción de exportar la red a una base de datos *ACCESS* del *Menú: Fichero/ Exportar/ Base de datos ACCESS*. A continuación abra el fichero *ACCESS* que contenga la red exportada y modifique sobre la tabla correspondiente a las *Conducciones* (y/o *Emisores*) el campo asociado al *Factor de Rugosidad* en todos los elementos afectados, auxiliándose si es preciso de las herramientas de búsqueda y sustitución de la base de datos.

◆ Pérdidas en bifurcaciones

En una red de tuberías, las intersecciones o bifurcaciones producen pérdidas singulares que, aunque no son de valores muy elevados de forma individual, es conveniente tener en cuenta por su efecto acumulativo. Las intersecciones y bifurcaciones más habituales son formadas por tres ramales, que se unen o dividen en un punto. Mucho menos frecuentes son los nudos en los que existen cuatro o más conducciones, ya que los enlaces múltiples suelen ser ejecutados mediante uniones consecutivas en "T". Al activar la casilla *Pérdidas en bifurcaciones*, GESTAR añadirá pérdidas de carga singulares en los tramos adyacentes en todos los nodos donde convergen tres conducciones, según la metodología y expresiones recogidas en BLEVINS, R. D. (1984): "*Applied Fluid Dynamics Handbook*". Pág. 91. Las intersecciones en dicha referencia se toman ortogonales existiendo diversas combinaciones de intersección y división de aguas según los sentidos de circulación del fluido en los tres conductos. GESTAR discrimina, según la dirección del flujo en los conductos, la combinación correspondiente y procede al cómputo de las expresiones correctas. En cualquier caso, se recomienda comprobar las diferencias encontradas en los resultados al incluir o excluir las pérdidas en bifurcaciones mediante la simple activación y desactivación de la casilla *Pérdidas en bifurcaciones*.

Si una intersección o bifurcación tiene un carácter especial (múltiples conductos, ángulos de inserción muy diferentes,...), y se dispone de la información adecuada para caracterizarla, siempre será posible contemplarla como una *Pérdida Singular* e incorporarla a los *Elemento Conducción* anexos. En tal caso, téngase en cuenta que si el nodo corresponde a una unión triple, se superpondrán las pérdidas singulares introducidas por el usuario con las pérdidas incorporadas por GESTAR al activar la casilla *Pérdidas en bifurcaciones*. Normalmente este efecto será irrelevante (y además se encuentra del lado de la seguridad) pero, si desea eliminar este error, simplemente añada un nuevo conducto a la unión de longitud y diámetro arbitrario y cerrado en su otro extremo, de manera que GESTAR no incorpore pérdidas singulares a los tramos del nodo (por ser un nodo que une cuatro conducciones), contemplándose entonces exclusivamente las impuestas por el usuario.

Si se incorporan manualmente pérdidas singulares en los conductos adyacentes a los nodos (bien sea por unión de conducciones o por cambio de diámetro) tenga en cuenta la posibilidad de que los sentidos de circulación sean distintos de los supuestos, o cambien en el transcurso de la simulación, lo que alteraría el valor de los coeficientes introducidos.

En el *Anexo VI* (pág. 277) se realiza un estudio pormenorizado de las pérdidas en bifurcaciones.

Grupos diseño inverso...

Esta opción equivale a la ya descrita en el *Capítulo 4* para el icono . (ver pág. 140).

5.6 MENÚ *RESULTADOS*

En el Menú Resultados se encuentran opciones para la consulta de los resultados de las diversos tipos de simulaciones contempladas en GESTAR, escenarios simples, sorteos encadenados y evolución temporal, así como la posibilidad de configurar los rangos del código de colores.

Listado numérico...

La opción *Listado Numérico* del menú *Resultados* permite visualizar los resultados obtenidos del escenario mostrado en la ventana *Mapa* la red actual en forma numérica, una vez realizado el cálculo de ésta.

La ventana que se obtendría al seleccionar la opción *Listado Numérico* sería la mostrada en la FIGURA 4. 14, y se explica detalladamente en el *Capítulo 6*, pág. 179. Los valores que se muestran para nodos y elementos se corresponden al escenario actual.

Cuando la simulación realizada es la de un escenario simple, los valores mostrados son los únicos disponibles. En este caso la opción corresponde a la acción del icono  de la barra de herramientas de GESTAR.

Cuando se muestra en la ventana *Mapa* un escenario crítico de un *Sorteo Encadenado* (*Capítulo 4*, pág. 78) los resultados del *Listado Numérico* corresponden a dicho caso crítico. En este caso la opción corresponde a la acción del icono  de la ventana *Casos críticos*.

Cuando se muestra en la ventana *Mapa* un escenario asociado a un paso temporal en una *Evolución Temporal* (*Capítulo 4*, pág. 83) los resultados del *Listado Numérico* corresponden a dicho intervalo. En este caso la opción corresponde a la acción del icono  de la ventana del cursor de la *Evolución temporal*.

En el caso de que se haya realizado un análisis de la red mediante *Sorteos Encadenados* y existan escenarios válidos (que no hayan infringido las alarmas configuradas), el listado numérico muestra los valores máximos, medios o mínimos, según se haya seleccionado en la ventana de *Leyenda de Colores* una de estas tres opciones.

Resultados en evolución...

La opción se encuentra activa cuando se ha concluido la simulación de una *Evolución temporal*. Muestra la *Tabla de Evolución Temporal* que aparece en la FIGURA 4. 15 y por tanto equivale a la acción del icono  tras una simulación temporal.

Código de colores (CTRL + L)

Al seleccionar esta opción aparecerá una ventana donde se podrá especificar los colores con que serán representadas las distintas variables en la salida gráfica, tanto en nodos como en elementos, así como los intervalos numéricos para cada color y la forma en que éstos son asignados, manual o automáticamente.

La información sobre esta opción se encuentra recogida en la descripción del botón  de la barra de herramientas (pág. 90) y en el *Capítulo 6*, pág. 179.

5.7 MENÚ ALARMAS

Este menú permite establecer la generación de alarmas durante cualquiera de los tipos de simulación que permite *GESTAR*. Una alarma consiste en un aviso que recibe el usuario durante la ejecución de la simulación del escenario, en forma de marcador gráfico y/o texto, que le avisa de que alguna variable ha excedido, por exceso o por defecto, los valores máximo y mínimo que se han especificado previamente. En virtud de estas alarmas se facilita la detección y análisis de las disfunciones existentes en la red provocadas por excesos de demanda, sobrevelocidad, consumos improcedentes, fugas, etc., facilitando un filtrado preliminar de configuraciones patológicas que podrán subsiguientemente ser estudiadas en detalle. Estas funciones serán de sumo interés de cara al diseño y la gestión de la red:

DISEÑO

Estableciendo una secuencia de ensayos automáticamente concatenados con diferentes condiciones de consumo aleatorias, con porcentajes de simultaneidad constantes o asimismo variables, se extraerán y almacenarán exclusivamente los casos que violen las restricciones impuestas para su posterior análisis, detectando los puntos que sistemáticamente u ocasionalmente, se convierte en críticos.

Asimismo realizando simulaciones previas que establezcan estados anómalos de la red debidos a paradas de grupos de impulsión, consumos excesivos, roturas, usos improcedentes, obstrucciones, etc., podrán localizarse inmediatamente las variables y las zonas más sensibles y generar una librería de estados de disfunción, sintetizados por ciertos valores característicos de las variables hidráulicas en puntos o secciones de control adecuadas.

GESTIÓN

Cuando se efectúa la simulación de una programación de riego, la configuración de alarmas adecuadas en velocidad, presión, nivel de los depósitos... facilita la verificación del correcto comportamiento de la red durante todo el proceso, advirtiéndose inmediatamente de las disfunciones encontradas.

Configuración...

Con esta opción aparece una ventana para establecer los rangos de valores admisibles para una serie de variables de control, de modo que, al calcular escenarios simples o con las opciones *Sorteo Encadenado* (pág. 78) o *Evolución temporal* (pág. 83) las variables que queden fuera de rango en el escenario sean detectadas y señaladas al usuario. La ventana *Alarmas* (FIGURA 5. 18) no solo sirve para establecer los márgenes de validez de las variables, si no que permite almacenarlas, recuperarlas y fijar algunas otras opciones.

En lo relativo a la definición de las variables susceptibles de controlarse y la demarcación de los rangos respectivos, en la presente versión se pueden configurar alarmas de tipo genérico para:

Módulo de la velocidad en *Conductos*.

Módulo de la pérdida de carga por unidad de longitud en *Conductos*.

Módulo de la velocidad en la brida de aspiración en *Bombas*.

Módulo de la velocidad en *Válvulas de Regulación*.

Altura de presión en *Nodos de Consumo Conocido* e *Hidrantes Reguladores*.

Módulo del consumo en *Nodos de Consumo Conocido* e *Hidrantes Reguladores*.

Módulo de velocidad en los *Elementos de goteo*.

Para configurar una de las anteriores alarmas se deberá introducir (FIGURA 5. 18) los valores mínimo y máximo de la variable respectiva y activar la casilla correspondiente. El intervalo existente entre el valor mínimo y el máximo constituye el margen correcto de operación. Si la casilla se desactiva, aunque se encuentre definido el margen correcto de operación, no se tomará en cuenta dicha variable para la generación de alarmas.



FIGURA 5. 18 Ventana Alarmas.

Además de los anteriores registros, en la ventana *Alarmas* aparecen opciones y botones adicionales:

◆ **Hidrantes desbordados.**

Se entiende por hidrante desbordado a una situación tal que:

Si el hidrante se ha simulado mediante un *Nodo de Consumo Conocido* (que tenga especificada y activa la opción presión de regulación) la presión en la red descende por debajo de la presión de consigna.

Si el hidrante se ha simulado mediante un *Nodo Hidrante Regulador*, la presión descende por debajo de la presión mínima de operación del hidrante (igual o menor a la de consigna).

Al activar la casilla *Hidrante desbordado* se marcarán, en la ventana *Mapa del escenario* que muestra los resultados del cálculo, los hidrantes desbordados con un aspa de color rojo. (ver FIGURA 5. 19).

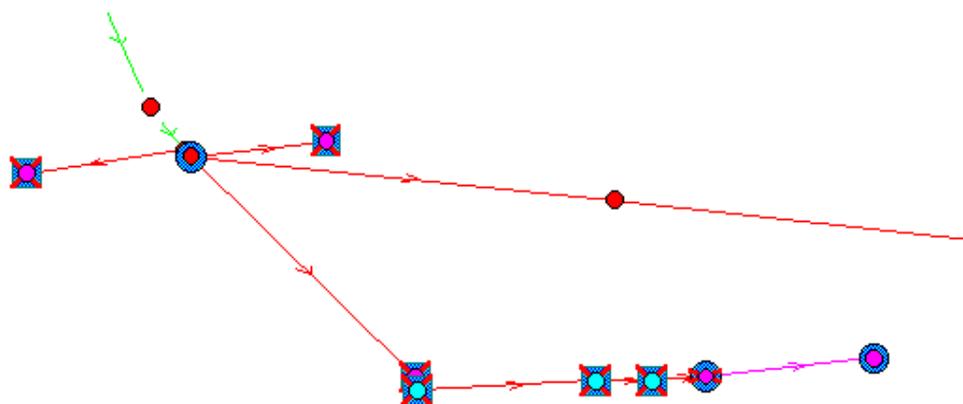


FIGURA 5. 19 Hidrantes desbordados

◆ Niveles en Balsas

Esta opción sólo puede activarse una vez se accede previamente a la ventana *de Evolución Temporal* (Capítulo 4, pág. 83) ya que establece que se dispare una alarma cuando durante una *Evolución Temporal* los niveles en los nodos de tipo *Balsa* superen el nivel máximo o descienda por debajo valor mínimo, valores definidos para cada *Balsa* en su ventana de definición (Capítulo 4, pág. 103).

◆ Guardar casos críticos

Esta opción sólo puede activarse una vez se accede previamente a la ventana *de Sorteo Encadenado* (Capítulo 4, pág. 80) ya que establece que se almacenen, para su posterior consulta y análisis, aquellos escenarios generados por la herramienta *Sorteo Encadenado* que hayan implicado el disparo de alguna alarma.

◆ Cavitación en bombas

Activar esta opción cuando queremos que se nos avise de que la bomba ha cavitado. Ésta situación se produce siempre que el valor del NPSH disponible es menor que el requerido.

◆ Botón

Es posible guardar automáticamente configuraciones de alarmas en ficheros independientes para su posterior recuperación. Los *Ficheros de alarmas* tienen por defecto las extensión “.alm”. El botón *Guardar* creará una ventana de diálogo para establecer el nombre y directorio donde se crea el fichero.

◆ Botón

Para recuperar un *Fichero de alarma* previamente creado hay que pulsar este botón que despliega una ventana de diálogo que permite mostrar y seleccionar los ficheros de extensión “.alm”.

◆ Botón Informe

El botón *Informe* amplía la ventana para dar acceso al listado (FIGURA 5. 20), que constituye el informe que identifica el origen de las alarmas producidas en la simulación. Este texto puede guardarse como archivo con el botón *Guardar Informe* (aparece en esta ampliación de la ventana) con el fin de conservar y analizar el listado de alarmas. Estos archivos son de la forma “*.ifa”.

Informe de alarmas

Se despliega directamente la ventana de la FIGURA 5. 20 ofreciéndose el texto del informe de alarmas.

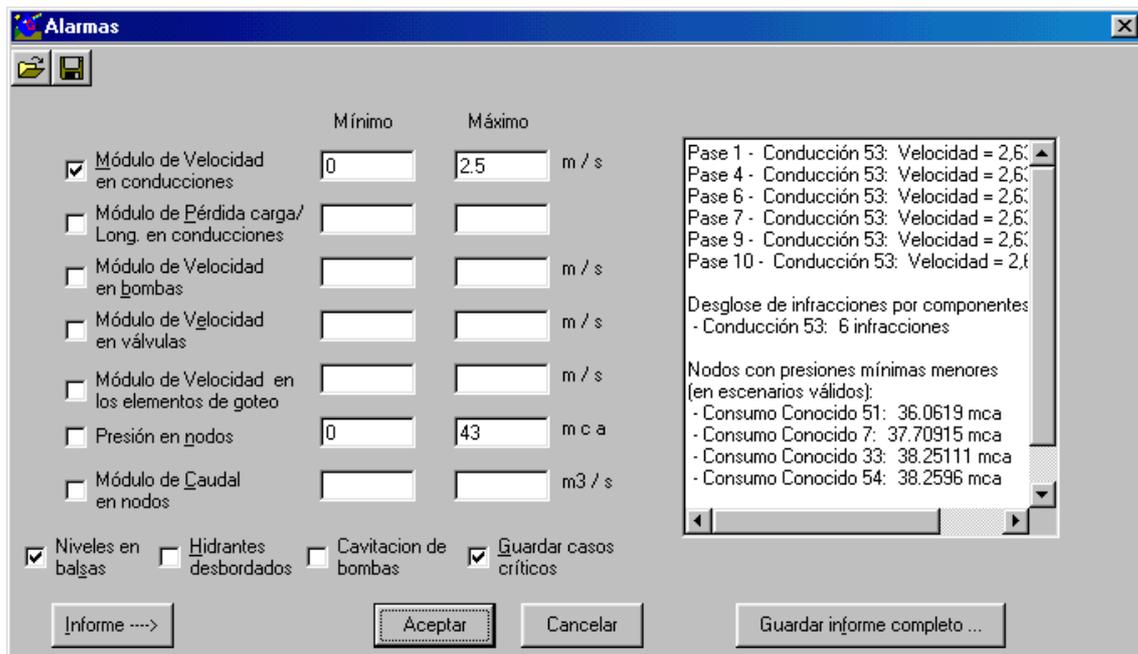


FIGURA 5. 20 Alarmas/ Informe (tras Sorteos Encadenados con Casos Críticos)

El *Informe de Alarmas* ofrece diferente información en función del tipo de cálculo que haya tenido lugar:

- ◆ **Cálculo Simple.** Se listará cada nodo o elemento que haya infringido las alarmas acompañado del valor de la variable infractora.
- ◆ **Evolución Temporal.** Se añadirá la información del escenario en el que ha tenido lugar cada infracción.

- ◆ **Sorteos Encadenados.** Además, se listará un *Desglose de infracciones por componentes*, donde se informará del número de veces que cada nodo o elemento de la red ha incumplido las restricciones impuestas por las alarmas. También se informará de los 5 nodos de consumo con presiones mínimas menores dentro de los pases que no han infringido las alarmas. Esta última información se recogerá en el *Informe de Alarmas* aún en el caso de que éstas no hayan sido activadas mediante la casilla *Guardar Casos Críticos* de la *Ventana de Alarmas*.

La información contenida en el *Informe de Alarmas* puede almacenarse en un fichero a través del botón *Guardar Informe de Alarmas*. Al pulsarlo, un cuadro de diálogo permitirá crear el correspondiente *Fichero de Alarmas* (extensión “*.ifa”) o un fichero de texto convencional (extensión “*.txt”).

Niveles en Balsas

Activa o desactiva la casilla correspondiente de la ventana de *Configuración de Alarmas* (pág. 173)

Guardar Casos Críticos

Activa o desactiva la casilla correspondiente de la ventana de *Configuración de Alarmas* (pág. 173)

Hidrantes Desbordados

Activa o desactiva la casilla correspondiente de la ventana de *Configuración de Alarmas* (pág. 173)

Cavitación de Bombas

Activa o desactiva la casilla correspondiente de la ventana de *Configuración de Alarmas* (pág. 173)

5.8 MENÚ AYUDA

Desde el menú *Ayuda* se posibilita al fichero de ayuda de *GESTAR* (*Gestar.hlp*) y a una serie de informaciones generales sobre el programa.

Ayuda

Desde este menú se accede al fichero de ayuda *GESTAR.HLP*, donde se encuentra toda la información acerca del funcionamiento de *GESTAR*. También se puede visualizar este fichero mediante la pulsación de la tecla F1 en cualquier momento mientras se trabaja con *GESTAR*.

Acerca de GESTAR

En este apartado se suministra información de las entidades colaboradoras del programa y de las personas que han realizado el mismo.

Información

Esta opción nos ofrece una ventana en la que se resumen de manera muy breve los apartados 2.1, 2.2 y 2.3 de este manual, en los que se nos explica los objetivos generales de la creación del programa, las características y las posibilidades del mismo.

Novedades

Se muestra un listado con las principales novedades de *GESTAR 1.2* respecto a las versiones anteriores del programa.

6. GENERACIÓN DE ESCENARIOS Y SALIDA DE RESULTADOS

En este sexto capítulo se describen las distintas metodologías dispuestas en *GESTAR* para crear una red (apartado 6.1 pg.156) y para visualizar o documentar los resultados de los cálculos (apartado 6.2 pg.189).

6.1 GENERACIÓN DE ESCENARIOS.

Como se ha apuntado en el *Capítulo 3*, existen diversas formas de definir una red en la ventana gráfica de *GESTAR*:

Generación Gráfica Nativa. La definición de los nodos y elementos de una red la realiza el usuario interactivamente en la ventana *Mapa* a partir de las herramientas dispuestas para ello en *GESTAR*. (pág. 181). Esta metodología nativa es autosuficiente para crear cualquier escenario y puede usarse complementariamente a cualquiera de las otras alternativas citadas más abajo. Para utilizar este procedimiento como base de trabajo hay que recurrir al menú *Fichero/Red Nueva* si la red no existe (disponible también en el segundo botón de la *Barra de Herramientas* –icono ) o al menú *Fichero/ Abrir Red* si el fichero correspondiente ya ha sido creado previamente (disponible también en el segundo botón de la *Barra de Herramientas* -icono )

Abrir Digitalización. Opción del Menú *Fichero/Abrir Digitalización* mediante la que se importan las coordenadas de puntos de una digitalización, guardados en un fichero *ASCII*, configurados como nodos de unión, a partir de los cuales el usuario construirá el resto de la red interactivamente utilizando las herramientas dispuestas para ello en *GESTAR* (pág. 182).

Importar una base de datos desde ACCESS. Opción del Menú *Fichero/Importar/Base de datos ACCESS* que ofrece la posibilidad de importar (y exportar) la información de cualquier red con la base de datos *ACCESS* (pág. 185).

Entrada de datos desde AUTOCAD. Se ofrece la posibilidad de generar (y exportar) la topología de la red con la aplicación *AutoCAD* mediante el programa *GestarCAD* (ver *Anexo VIII*, pág.285).

Por otro lado, independientemente de la herramienta empleada en la construcción de un escenario para su cálculo posterior, se requiere recopilar previamente la información precisa para especificar los tres tipos de datos que constituyen el escenario: *topología constructiva de la red*, *condiciones de contorno* determinadas y una *configuración de los dispositivos de control* concretas (ver Anexo I pg.239). Cada uno de estos bloques requiere especificar la siguiente información:

TOPOLOGÍA CONSTRUCTIVA

Grafo de conectividad de nodos y disposición de elementos.

La descripción de coordenadas y cotas de todos los nodos.

La descripción de los diámetros, rugosidades, longitudes y materiales de todas las conducciones.

La especificación de las características hidráulicas (curvas características o coeficientes de pérdidas) de los dispositivos y piezas especiales instaladas (bombas, válvulas, reducciones, filtros, codos, etc.).

La especificación de las características hidráulicas de comportamiento global de las parcelas (respuesta presión/caudal de la red conectada a un hidrante).

CONDICIONES DE CONTORNO.

Se entiende por *condiciones de contorno* de una red en un instante dado a la combinación existente en ese momento:

-de consumos, en los nodos donde se conoce la demanda de fluido (Nodos de Consumo Conocido e Hidrantes Reguladores).

-de niveles energéticos, en los puntos donde la presión, cota y energía cinética son conocidas (Embalses, Balsas, Nodos de Presión Regulada y Doble Condición).

CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL.

Se define como *configuración de los dispositivos de control* de una red en un instante dado, al conjunto concreto de estados de activación, regulación y consigna de los diferentes elementos internos (grupos de bombeo, válvulas, reguladores, etc.) de la red en ese momento, incluyendo los coeficientes de pérdidas internas.

A continuación se describen las cuatro metodologías incorporadas en *GESTAR* para la definición de escenarios y una serie de recomendaciones para su construcción.

6.1.1 GENERACIÓN GRÁFICA.

Por **elemento** se entiende cualquier componente hidráulico susceptible de ser recorrido por un fluido. Los elementos disponibles en *GESTAR* son: *Conducción*, *Bomba*, *Válvula de Regulación*, *Elemento Indeterminado* y *Elemento de consumo en ruta*..

Por otra parte, un **nodo** se define como una intersección de dos o más elementos o el extremo libre de un elemento. *Nodo de Unión*, *Embalse*, *Balsa*, *Nodo de Presión Regulada*, *Nodo de Consumo Conocido*, *Hidrante Regulador*, *Nodo de Doble Condición*, *Nodo sin Condición* y *Nodo Emisor* son los distintos tipos de nodos que *GESTAR* ofrece.

Para comenzar la generación gráfica de una red se debe activar el comando *Red Nueva* (disponible en el menú *Fichero* o en el primer botón de la *Barra de Herramientas*, botón ). Se abrirá la ventana *Escala* (FIGURA 6. 1).

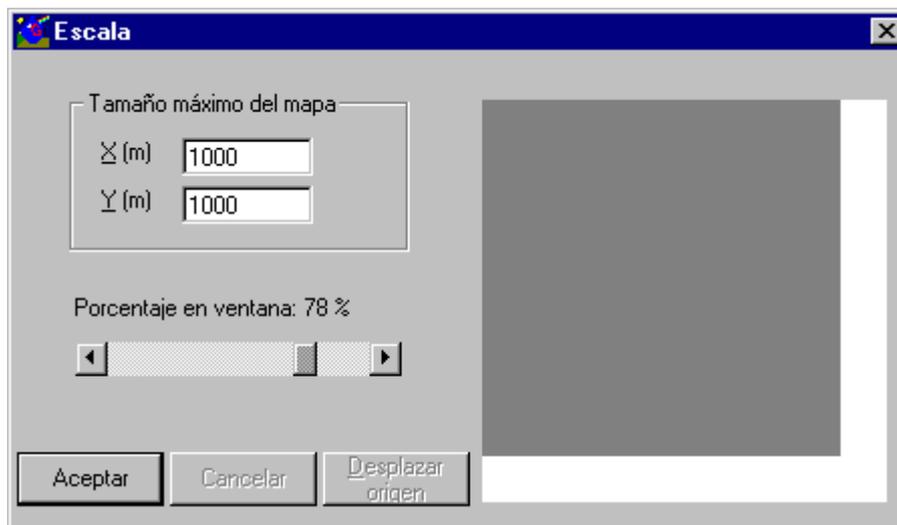


FIGURA 6. 1 Escala.

En esta ventana vienen dadas las dimensiones reales tanto horizontales (*X*) como verticales (*Y*) del mapa, expresadas en metros. Estas dimensiones están dadas por defecto y podrán ser modificadas. También se puede regular el porcentaje del mapa que aparecerá en pantalla, siendo en el ejemplo un 78% y correspondiéndose con la zona sombreada. Para aumentarlo o disminuirlo bastará con arrastrar la barra de scroll.

Cabe la posibilidad de desplazar el origen de coordenadas respecto de la red pulsando el botón *Desplazar origen*. Aparecerá una nueva ventana en la que habrá que especificar el desplazamiento tanto horizontal como vertical del origen. Un desplazamiento positivo indica un acercamiento del origen hacia la red, mientras que un desplazamiento negativo indica un alejamiento del origen de la red.

En la esquina inferior izquierda de la pantalla, una vez validada esta ventana, se reflejará la posición real en metros del ratón sobre la ventana.

Tras pulsar el botón *Aceptar* ya se está en condiciones de comenzar la ubicación y definición de los nodos y elementos de la red.

Para ubicar un nodo en la ventana gráfica, se deberá pulsar con el botón principal del ratón sobre el botón correspondiente de la *Barra de Herramientas* y después pulsar sobre el punto de la ventana donde se desee situar el nodo. Para situar un elemento, deberán estar previamente creados los nodos inicial y final del elemento; la ubicación se realizará seleccionando el botón correspondiente de la *Barra de Herramientas* y pulsando sucesivamente sobre dichos nodos inicial y final. Si el nodo inicial y final del elemento coinciden, o si entre dichos nodos ya existe un elemento, se cancelará la creación del nuevo elemento.

Tras la ubicación, aparecerá una ventana de diálogo (salvo en *Nodo de Unión* y en *Elemento Conducción*, que por defecto no muestran su ventana de diálogo) donde se podrá concretar la ubicación exacta del nodo o elemento, así como los diferentes parámetros necesarios para la correcta definición del nodo o elemento. Haciendo doble clic sobre cualquier elemento o nodo ya ubicado se puede acceder a su ventana de diálogo, donde cualquiera de sus parámetros es susceptible de ser modificado. Si se pulsa con el botón secundario sobre un nodo o elemento se desplegará una ventana donde figurarán las variables y parámetros conocidos.

6.1.2 ABRIR DIGITALIZACIÓN.

El comando *Abrir Digitalización...* se encuentra en el menú *Fichero*.

Si se selecciona esta opción aparecerá el cuadro de diálogo, recogido en la FIGURA 6. 2, en el que se especificará un tipo de fichero *ASCII* (cuya extensión por defecto será “*.map”) que contiene, a lo sumo, coordenadas e identificadores de puntos individuales. Este tipo de ficheros se habrá generado previamente mediante cualquier recurso, bien sea de forma manual, con el auxilio de herramientas de digitalización de puntos sobre planos (en soporte papel o informático), o mediante hojas de cálculo y/o bases de datos.

Los puntos así especificados se importarán automáticamente en *GESTAR* como *Nodos de Unión* sobre una ventana de mapa nueva donde las dimensiones máximas en *X* e *Y* se asociarán a las máximas encontradas entre los nodos importados, más un margen adicional del 15%.

El usuario, al generar el fichero *.map, deberá incluir todos aquellos puntos que resulten relevantes para la definición de la red, que desee ubicar de forma precisa (de acuerdo a las coordenadas suministradas) y automática, **y no solo los puntos que sean estrictamente *Nodos de Unión* según el esquema hidráulico de la red.** Así, junto a los *Nodos de Unión* (puntos de bifurcación, cambios de diámetro y puntos de control...) convendrá especificar, como puntos del fichero *.map, hidrantes, vértices significativos, posición de accesorios y válvulas relevantes, puntos de alimentación, ubicación de impulsiones, etc.

Seguidamente mediante las herramientas de *GESTAR* se procederá a transformar el tipo de los nodos así dispuestos, a incorporar nuevos nodos y a trazar los elementos que componen la red, tomando como referencia la nube de puntos creada.

El proceso comienza activando la opción del menú *Fichero/Abrir Digitalización...* desplegándose la ventana de selección de la FIGURA 6. 2, en la que se debe seleccionar el fichero que contenga la digitalización (se muestran por defecto los ficheros con extensión *.map). El fichero deberá ser un fichero de tipo *ASCII* con los datos asociados a cada nodo registrados en una línea de texto, y con cualquier tipo de formato de número (decimal, entero o científico). Los datos se encontrarán separados por espacios o tabuladores. Utilice el punto para expresar los valores decimales.

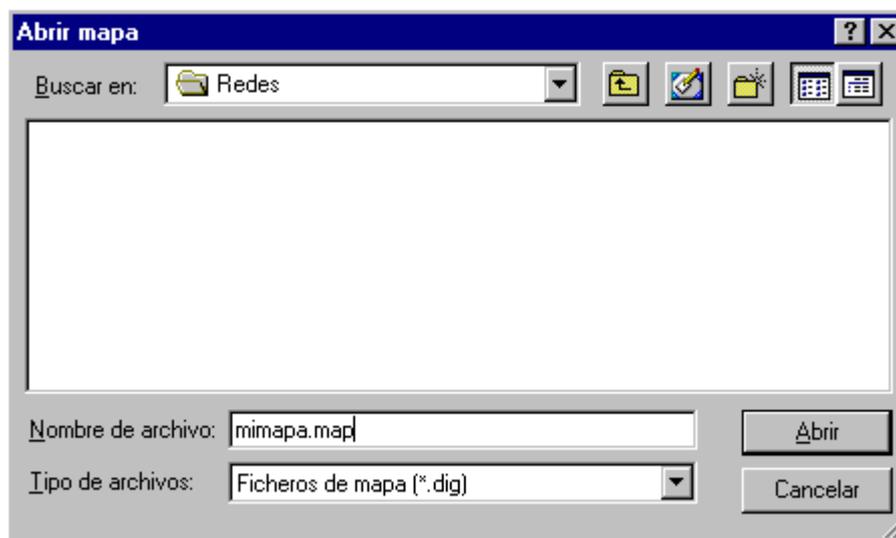


FIGURA 6. 2 Abrir digitalización.

Una vez aceptada la apertura de un fichero que contenga los puntos de una digitalización se despliega una ventana como la de la FIGURA 6. 3. En ella se muestra en la parte inferior el contenido del fichero invocado, de manera que el usuario puede comprobar/recordar la estructura de datos grabada. En la parte superior aparecen seleccionadas varias opciones, algunas de las cuales deberán quizá reconfigurarse con objeto de especificar en *GESTAR* la estructura de la digitalización que se importa.

FIGURA 6. 3 Consignación de la estructura de los datos del fichero *.map.

El orden de los datos asociados a un nodo en cada línea del fichero *.map deberá ser estrictamente el indicado en el recuadro *Datos de la digitalización* de la FIGURA 6. 3, siendo opcionales el *Identificador del Nodo* y la *Cota Z*. Si estos valores se suministran en el fichero *.map las casillas correspondientes deberán activarse. **Las coordenadas X e Y son los únicos datos obligatorios que debe asignarse a todos y cada uno de los nodos.**

Si se activa las casillas *Identificador del Nodo* y/o la *Cota Z*, **todas las líneas del fichero** deberán incorporar dichos datos. Si para alguno de ellos se carece de la información respectiva (p.e. cota) rellene el lugar correspondiente con un valor arbitrario, pero nunca deje sin anotar un campo.

El *Identificado del Nodo* será una cadena alfanumérica de hasta ocho caracteres distinta para cada nodo. Al importar un fichero *.map, en caso de que no se incluya el *Identificador del Nodo*, GESTAR asignará automáticamente identificativos NUX, siendo X un número asignado a cada nodo de forma correlativa según figure en el fichero *.map.

Si en el fichero *.map no se especifican cotas para los nodos, GESTAR los creará asignándoles cota cero.

Se deberá asimismo indicar en la ventana de la FIGURA 6. 3 la posición del *origen de coordenadas* relativo a la visión del usuario, y, si los nodos de la red están muy alejados respecto al origen de coordenadas (p.e. coordenadas U.T.M.), conviene seleccionar *Traslación al origen* con objeto de situar un nuevo origen de coordenadas en un punto próximo al nodo más cercano al origen inicial.

Cuando se hayan completado todos estos requerimientos se pulsa *Aceptar* en la ventana FIGURA 6. 3 y aparecerá la ventana *Escala* (FIGURA 6. 1), descrita

anteriormente. Es recomendable incrementar los valores *X* e *Y* del tamaño máximo del *Mapa* con objeto de asegurar la visualización de los nodos más extremos, ya que en ocasiones estos pueden quedar ocultos por las barras de desplazamiento. Una vez se pulsa el botón *Aceptar* de esta última ventana aparecerá la ventana definitiva del *Mapa* con la nube de nodos introducida y sus identificativos. Revise que todos ellos se encuentran correctamente volcados y proceda a la completa construcción de la red con la ayuda del armazón de *Nodos de Unión* importados.

6.1.3 IMPORTAR BASE DE DATOS DESDE ACCESS.

Mediante la opción *Fichero/Importar/Base de datos Access*, *GESTAR* ofrece la posibilidad de importar todos los datos relativos a un escenario (topología constructiva, condiciones de contorno y configuración de dispositivos) desde un fichero *ACCESS* (extensión “*.mdb”) que contenga el conjunto de tablas necesarias. La descripción de la comunicación entre *GESTAR* y *ACCESS*, y en particular de la estructura de las tablas que es preciso suministrar es tratada en detalle en el apartado *7.1 Comunicación con ACCESS* (pág. 207).

También *GESTAR* puede exportar (Menú *Fichero/Exportar/Base de datos Access*) los datos completos de un escenario a una base de datos tipo *ACCESS*, con la misma estructura que en el caso de la importación, desde donde se puede inspeccionar, cambiar y analizar si se desea los valores de los parámetros de la red.

De esta manera, para facilitar la construcción de un escenario a través de la importación de un fichero *.mdb, se puede emplear un fichero *.mdb semilla. Este fichero semilla o plantilla se obtiene exportando, mediante la opción *Fichero/Exportar/Base de datos ACCESS*, una red sencilla o prototipo, que contenga todos los tipos de nodos y elementos deseados, para a continuación inspeccionar las tablas correspondientes del fichero *ACCESS* así creado y modificarlas y/o ampliarlas convenientemente adaptándolas al caso completo.

6.1.4 ENTRADA DE DATOS DESDE AUTOCAD.

La información referente a la entrada de datos desde *AUTOCAD* se recoge en el *Anexo VIII* (pág. 285).

6.1.5 RECOMENDACIONES PARA LA GENERACIÓN DE MODELOS

Cualquiera que sea el procedimiento que el usuario utilice para la carga de datos conviene que tenga presente un conjunto de criterios y recomendaciones, fruto de la experiencia en el uso de la aplicación, que facilitará su trabajo posterior y que a continuación se reseñan.

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PREVIA:

La información mínima necesaria para generar un modelo consiste en: la planimetría de la red, dotación y cotas de los hidrantes, cotas de los nodos de alimentación, potencia de las bombas y diámetro interior, material y longitud de las conducciones. Esta deberá ser completa y fiable.

Conviene disponer de la base de datos completa del fabricante de las conducciones a emplear en cuanto al material, timbraje y diámetros nominales, para conocer con precisión los diámetros internos, que no siempre coincidirán con los nominales (p.e. materiales plásticos). Los diámetros internos en tales casos pueden diferir ligeramente de un fabricante a otro, ya que la normalización de dichos materiales establece valores mínimos de los espesores de pared, para un timbraje y diámetro nominal dados, pero no su diámetro interno. No obstante, si no se dispone de la información detallada del fabricante, o éste aún no ha sido determinado, pueden emplearse los datos que figuran en las normas respectivas y utilizar los espesores mínimos como valor de referencia para calcular el diámetro interno, ya que habitualmente los espesores reales serán semejantes a los mínimos impuestos y los resultados de la simulación apenas diferirán, viéndose más afectados por otro tipo de incertidumbres.

Se deberá contar además una estimación sobre el grado de incertidumbre de todos los parámetros. Las incertidumbres o errores en la carga de datos más frecuentes, ordenadas según el nivel de repercusión en los resultados de presión y/o caudal son:

- ◆ Cotas en los nodos.
- ◆ Diámetros internos (Si la conducción posee deposiciones que reducen su diámetro).
- ◆ Rugosidad en conducciones.
- ◆ Calidad de ejecución de las obras (Pérdidas singulares no identificadas, fugas)
- ◆ Dotación de los hidrantes.
- ◆ Trazado de la conducción.
- ◆ Pérdidas de carga en elementos singulares

IDENTIFICACIÓN DE LOS NODOS DE LA RED

Sobre el plano o esquema sinóptico de la red de distribución se identificarán la ubicación de los componentes que pasarán a ser parte del modelo.

Los puntos de consumo se asignarán a Nodos de Consumo Conocido, Hidrantes Reguladores o emisores según se considere o proceda.

Los puntos de alimentación se asignarán a Embalses, Balsas o Nodos de presión Regulada según se considere o proceda.

Se modelizarán como Nodos de Unión:

- ◆ Los puntos de bifurcación de la red y cambios de diámetro se definirán habitualmente. No obstante, si en la bifurcación o en el cambio de diámetro (o en su entorno inmediato) existe un punto de consumo que se modeliza como Hidrante Regulador o Nodo de Consumo conocido podrá localizarse el punto de consumo justamente en la bifurcación o en el cambio de diámetro en sustitución del *Nodo de Unión*, ahorrándose la definición de un nodo y elemento adicional para el hidrante.
- ◆ Los puntos donde se inserta el extremo de alimentación de un emisor.
- ◆ Los puntos inicial y/o final de una válvula de regulación automática (misma cota).
- ◆ Los puntos inicial y final de un grupo de bombeo (cotas asociadas a aspiración e impulsión).
- ◆ Los puntos inicial y final de un dispositivo de regulación (habitualmente poseen la misma cota).
- ◆ Los puntos inicial y final de todo elemento singular cuya presencia se desee destacar o cuyas condiciones hidráulicas en entrada y/o salida se deseen conocer.
- ◆ Los puntos singulares de la red donde la presión se deba controlar: puntos más elevados en cada ramal, de mínima o máxima cota/presión, desagües, ventosas.
- ◆ Vértices o puntos intermedios de una conducción donde se desee conocer la presión calculada.
- ◆ Puntos intermedios de trazados que discurran por terrenos irregulares, para reducir los errores que se introducen en el cálculo por defecto de la longitud de los tramos mediante poligonales que unen los nodos inicial y final con cotas de los vértices interpoladas (consultar pág. 116). Dado que siempre es posible indicar la longitud real del desarrollo del tramo en la casilla longitud de la ventana de definición del *Elemento Conducción* (FIGURA 4. 29), no conviene insertar excesivos *Nodos de Unión* con este propósito auxiliar ya que al incrementarse innecesariamente el número de nodos se multiplica el tiempo de cálculo, se hace más compleja la carga de datos (hay que introducir cota y posición de cada nodo intermedio) y se dificulta la interpretación posterior de los resultados.

ASIGNACIÓN DE DATOS EN LOS NODOS

Cota: Establecer en el Menú *Opciones/ Valores por defecto/ Nodos* un valor por defecto igual a 0 (puesto que la cota de todos los nodos es distinta y esto nos ayuda a identificar los nodos a los que no se les ha asignado cota). La asignación de la cota con exactitud (cotas verificadas “in situ”) es de la mayor importancia en los hidrantes, puntos de alimentación, y de control de la presión, pero es menos exigente en los *Nodos de Unión* que no constituyan puntos de control de la presión, donde puede darse por interpolación entre los puntos de cota conocida más próximos.

Dotación: Establecer en el Menú *Opciones/ Valores por defecto/ Nodos* un valor por defecto igual a la dotación más habitual en la red para agilizar la carga (o nulo si se desea detectar los puntos que no han sido cargados)

Identificador: Elegir una estrategia de identificación sistemática, según sectores, según dotación, propietario, tipo, etc.

Comentario: Si resulta de interés introducir información adicional alfanumérica.

ASIGNACIÓN DE DATOS EN LOS ELEMENTOS

Rugosidad: Establecer en el Menú *Opciones/ Valores por defecto/ Nodos* un valor por defecto acorde con la formulación de cálculo de pérdidas de carga elegida y que corresponda al conducto más habitual. El valor por defecto con que se crea un nuevo conducto es el mismo que el último creado, hasta que en la lista de la casilla *Fabricante/ Referencia* de la Ventana de definición del Elemento Conducción FIGURA 4. 30, se seleccione la Opción <Ninguno>, que volverá a instaurar el valor por defecto General.

La experiencia recomienda utilizar valores netamente superiores a los indicados por normas o fabricantes, que suelen corresponder a la conducción recién manufacturada. **En todo tipo de materiales se aprecian**, tras algún tiempo en servicio, incluso si no existen obturaciones que hayan alterado el diámetro interior, deposiciones en las paredes asociadas a las propiedades químicas del agua y a la carga en materia sólida transportada, **deposiciones o incrustaciones que implican un valor de rugosidad muy por encima de la nominal**. El comportamiento de la instalación a largo de su vida útil deberá ensayarse con distintos valores de rugosidad para estudiar la sensibilidad de los resultados al envejecimiento. Preventivamente se recomienda utilizar valores conservadores para este parámetro (por encima de 0.1 mm de rugosidad absoluta en la formulación Darcy-Weisbach independientemente del material utilizado).

Diámetro: Conviene asignar o confirmar el diámetro interior a cada conducto inmediatamente después de su creación para evitar asignar un diámetro improcedente cuando se van generando conductos consecutivamente, ya que los valores por defecto que se adjudican a las propiedades del conducto son las del último conducto creado. Si se desea se puede forzar a la adjudicación de un diámetro por defecto impuesto en *Opciones/ Valores por defecto/ Elementos*, de manera que, especificando por defecto un valor muy pequeño, puedan fácilmente identificarse posteriormente los conductos que, por alguna causa no han recibido la asignación de sus propiedades reales.

Identificador: En redes de estructura ramificada es costumbre asignar al tramo el mismo identificativo o número de orden que el que corresponde al final del elemento, de esta manera se simplificaba la localización de nodos y elementos cuando los recursos gráficos eran reducidos.

Longitud: La longitud por defecto que establece GESTAR puede modificarse por el usuario si:

-La longitud calculada por *GESTAR*, basada en una poligonal que une los nodos inicial y final con cotas de los vértices intermedios interpoladas (pág. 116) no es

suficientemente precisa (trazados de gran longitud por zonas de altimetría muy irregular debida a abundantes lomas y vaguadas).

-Se desea introducir el cómputo de pérdidas singulares mediante técnicas de longitud equivalente.

-Salvo que todas las conducciones Establecer en el Menú *Opciones/ Valores por defecto/ Nodos* un valor por defecto que sea exageradamente pequeño.

6.2 SALIDA DE RESULTADOS.

Una vez ejecutados los cálculos asociados al escenario la red, los resultados obtenidos serán accesibles de ocho formas distintas que se describen a continuación, de las cuales las dos últimas están exclusivamente disponibles si se ha efectuado una simulación de *Evolución Temporal*:

- ◆ Codificación por Colores de las magnitudes de la red: Siempre que existan resultados fruto de un cálculo la visualización de la red se mostrará esta opción con código de colores configurable por el usuario (pág 190).
- ◆ Tabla de Valores Numéricos de las magnitudes de un escenario: Aparece en pantalla una tabla numérica completa, ordenada por etiquetas de nodos y elementos, de las magnitudes hidráulicas más destacadas del escenario cuyos resultados se visualizan en pantalla (pág. 193).
- ◆ Fichero ASCII de Valores Numéricos de las magnitudes de un escenario: Se genera un fichero ASCII con una réplica de la Tabla de Valores Numéricos de un escenario (pág. 196)
- ◆ Visualización de Valores Numéricos de magnitudes sobre toda la red: Aparece el valor de una magnitud seleccionada desde la Barra de Herramientas junto a cada nodo y/o elemento (pág. 197).
- ◆ Listado Emergente de Valores Numéricos de las magnitudes de un componente de la red: Consiste en un menú emergente de los parámetros más relevantes y variables calculadas de un nodo o elemento al pulsar con el botón secundario del ratón sobre el mismo (pág. 197).
- ◆ Exportación del escenario a ACCESS: Se crea una fichero *.mdb que incorpora todos los parámetros de configuración de un escenario individual y sus respectivas variables calculadas (pág.198).
- ◆ Tablas de Evolución Temporal: Representación tabulada de la variación de las magnitudes hidráulicas a lo largo del tiempo en simulaciones temporales (pág. 200).
- ◆ Gráficos de Evolución Temporal: Representación gráfica de la variación de las magnitudes hidráulicas a lo largo del tiempo en simulaciones temporales (pág. 200).

Las opciones:

- ◆ Visualización de Valores Numéricos
- ◆ Listado de Valores Numéricos
- ◆ Exportación del escenario a ACCESS

pueden invocarse en todo momento, aunque no existan resultados calculados para las variables desconocidas, mostrándose en ese caso exclusivamente los parámetros que hayan sido definidos.

6.2.1 CODIFICACIÓN POR COLORES.

Como opción por defecto, e inmediatamente después de calcular, en la ventana del mapa de la red aparecerá, para cada nodo, un círculo cuyo color indicará el intervalo de valores entre los que se localiza el valor de la magnitud seleccionada. El tamaño de este círculo se seleccionará en el menú *Opciones/ Preferencias* en el apartado *Visualización*. Análogamente, los elementos estarán trazados con una línea del color que corresponda al valor obtenido, y cuyo grosor será el especificado en el mismo menú *Opciones /Preferencias/ pestaña Visualización*.

Para cambiar las magnitudes a visualizar, los límites de los intervalos numéricos asociados a cada color, el método en que éstos se asignan e incluso los colores con que se representarán, hay que acudir al menú *Resultados/ Código de Colores*, o bien pulsar el botón *Código de colores* () de la *Barra de Herramientas*. Se obtendrá la ventana mostrada en la FIGURA 6. 4.

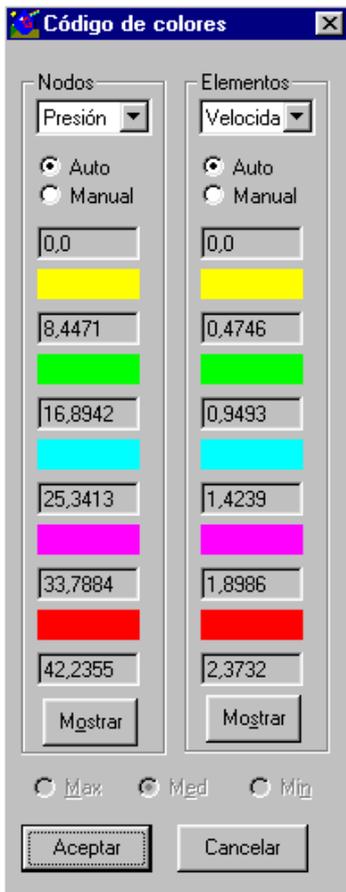


FIGURA 6. 4 Código de Colores.

En esta ventana se pueden distinguir dos partes completamente independientes: la mitad izquierda, para especificar la codificación de colores de los nodos, y la mitad derecha para los elementos. Ambas partes constan de, una lista de magnitudes que pueden ser visualizadas en el *Mapa* de la red, un botón *Mostrar*, para que aparezcan las leyendas, el tipo de selección de intervalos (auto o manual), seis cajas de texto donde indicar los extremos de los intervalos para cada color, y cinco rectángulos de color.

En el caso de los nodos, las únicas magnitudes que pueden ser representadas mediante colores en esta versión son: *Consumo*, *Altura Piezométrica*, *Presión* y *Cota*; para los elementos, se podrá representar *Caudal*, *Velocidad*, *Pérdida de Carga* y *Diámetro*. Seleccionando cualquiera de estas opciones en la lista de magnitudes, se representará automáticamente la elegida.

Por defecto, la generación de los límites de los intervalos es automática, es decir, entre los valores mínimo y máximo encontrados para la magnitud seleccionada en el escenario calculado se crean cinco intervalos idénticos. En la generación automática de intervalos **los nodos cuyo Consumo, Altura Piezométrica o Presión sea negativo o nulo se representarán con color gris oscuro** para ayudar a su detección y, **en el caso del Consumo, los valores negativos se excluyen en la definición de intervalos.**

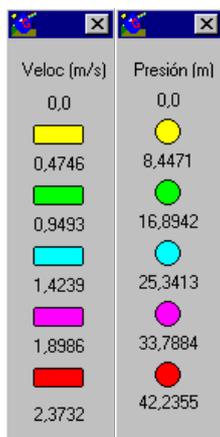
De esta manera se evita el que los importantes valores negativos de consumo siempre presentes y asociados a los puntos de alimentación de la red, condicionen la generación de intervalos. Análogamente, los elementos descargados, es decir, aquéllos cuyo *Caudal*, *Velocidad* o *Pérdida de Carga* sea nula, también serán representados con color gris.

Si la selección es *manual*, opción que se activa pulsando en la respectiva casilla de la FIGURA 6. 4, el usuario establece los seis valores numéricos cualesquiera, en orden creciente, el menor arriba y el mayor abajo, que suponen los límites convenientes de los intervalos, escribiéndolos en las casillas correspondientes. Asimismo puede establecer el color asociado a cada intervalo, eligiéndolo de la paleta de colores (FIGURA 5.6, pág. 155) que se despliega mediante un doble "clic" sobre la casilla que contiene el color a modificar. Una vez realizados los cambios, pulse el botón *Aceptar* para que estos sean operativos. *GESTAR* comprobará que la secuencia de intervalos es correcta, dando aviso en caso contrario.

Mediante la configuración manual, **se representan sólo las variables en un cierto rango deseado** (no se colorearán aquellos nodos o elementos cuyo valor de la variable seleccionada esté fuera de todos los intervalos) **con el color que se asigne**. Como ejemplo de esta utilidad, podemos mencionar que supone una ayuda en la localización de los ramales de una red por los que el fluido circula a una velocidad

excesiva. Como la velocidad deseable se sitúa alrededor de 1 m/s, se podría visualizar la magnitud *Velocidad*, adoptar la selección de intervalos manual y escribir los seis extremos de los intervalos desde 1,5 hasta el máximo. De esta forma, no se mostrarán los elementos cuya velocidad fuese inferior a 1,5 m/s (quedarían del mismo color que el fondo de la pantalla, es decir, invisibles), con lo que sólo se representarían las zonas de la red con altas velocidades. Análogamente, se podría hacer para detectar fácilmente los elementos con bajas velocidades.

El tipo de definición de intervalos (*manual* o *automático*), los extremos de éstos, y los cinco colores con que serán representados los rangos, se asocian a cada magnitud de forma independiente y se guardan con la red, de tal forma que cuando se vuelva a abrir perdurarán los colores e intervalos, lo que permite mantener la configuración óptima para la presentación.



Veloc (m/s)	Presión (m)
0,0	0,0
0,4746	8,4471
0,9493	16,8942
1,4239	25,3413
1,8986	33,7884
2,3732	42,2355

FIGURA 6. 5
Leyenda

El botón  cierra esta ventana, las de leyendas de nodos y elementos y elimina codificación de colores y los resultados del cálculo configurándose el Mapa de la red una nueva fase de edición de datos.

Los botones de *Mostrar* sirven para desplegar unas pequeñas ventanas flotantes que se pueden ubicar en cualquier parte de la pantalla y que reflejan los rangos de los colores asociados a la magnitud que se representa en el *Mapa*. Estas ventanas se actualizan automáticamente al cambiar de magnitud a visualizar, con el *Código de colores*, o al aceptar algún cambio.

Para terminar con la descripción de la FIGURA 6. 4, explicaremos que las casillas que hay en la parte inferior de la ventana, casillas *Máx.*, *Med.* y *Mín.*, sirven para tratar con los resultados máximos, medios o mínimos, respectivamente, de los valores de cada nodo o elemento sacados de entre todos los escenarios válidos (no promedian los casos críticos) calculados en un *Sorteo encadenado*. Así pues, después de realizar un *Sorteo encadenado*, sacaremos la ventana *Resultados* (FIGURA 6. 7) y dependiendo de la opción elegida, podremos ver los valores numéricos de todas estas opciones. Observaremos también, que los rangos de nuestra ventana *Código de colores* y por tanto los de las ventanas *Leyendas*, también cambiarán, ya que la creación de los cinco intervalos se realiza a partir de resultados diferentes, o sea de entre todos los máximos, los mínimos o los medios, según corresponda, de los valores de las variables. Otro recurso que nos da esta opción es el de ir viendo a la vez todos estos cambios que se dan, tanto en la ventana *Resultados*, como en la de *Código de colores*, reflejados en el *Mapa gráfico*.

Si en la ventana *Alarmas* (menú *Alarmas/ Configuración*) se ha establecido alguna restricción y ésta ha sido desbordada, en la codificación de magnitudes por colores se informará de qué nodos y elementos han desbordado las alarmas. Los nodos en cuestión aparecerán rodeados por un círculo rojo, mientras que los elementos serán representados por una línea de trazos. En la FIGURA 6. 6 se muestra un ejemplo, donde

los nodos y el elemento que han sobrepasado los límites en alguna de sus variables se señalan con una flecha negra.

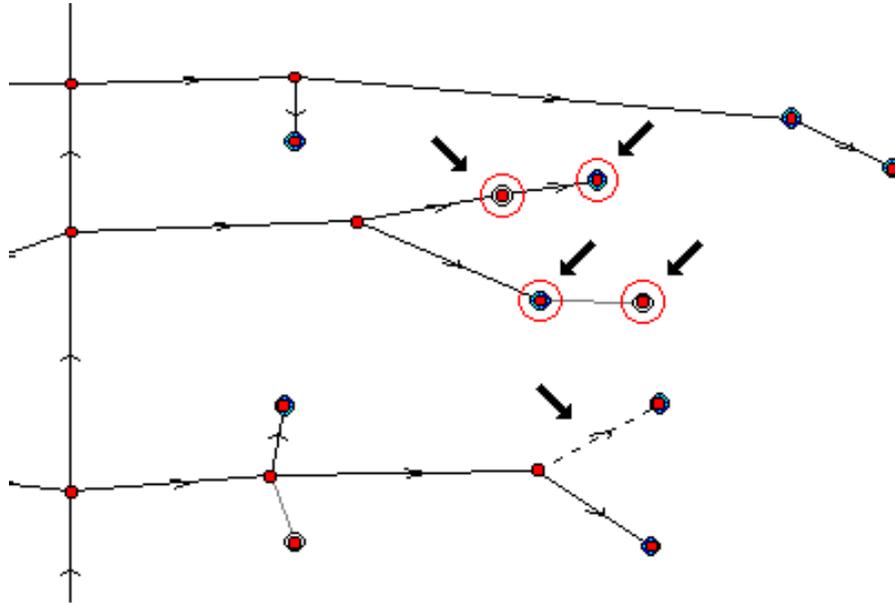


FIGURA 6. 6 Representación gráfica del desbordamiento de las alarmas.

En la codificación de magnitudes también se informa del sentido del fluido en cada una de las conducciones mediante una flecha. Si no se desea que aparezcan estas flechas, se debe desactivar la casilla Flechas de sentido en la ventana *Visualización* (menú *Ver/ Visualización*) ó directamente en la opción menú *Ver/ Ver flechas de sentido*.

6.2.2 TABLA DE VALORES NUMÉRICOS.

Los datos y resultados de un escenario ya calculado que se muestre en el *Mapa* de la red pueden consultarse mediante la *Tabla de Valores Numéricos* de la FIGURA 6. 7 (a la que se accede mediante el icono ) que contiene todos los nodos y elementos en orden creciente según su identificador, y que suministra los valores de las siguientes magnitudes hidráulicas para todos los tipos de nodos:

Altura Piezométrica (m), *Presión* (m), *Consumo* (m³/s y en el caso de goteros en l/h) y *Cota* (m).

Para los elementos se ofrece información sobre algunas magnitudes constructivas e hidráulicas dispuestas en casillas tituladas *Nodo inicial*, *Nodo final*, *Longitud*, *Diámetro*, *Rugosidad*, *Pérdida de Carga*, *Caudal* y *Velocidad*. Si el elemento no es una conducción, la información volcada en alguna de las casillas anteriores será reemplazada por otra información relevante o bien aparecerá en blanco.

Conducciones: El contenido que se muestra corresponde al enunciado de las casillas: *Nodo inicial*, *Nodo final*, *Longitud*, *Diámetro*, *Rugosidad*, *Pérdida de Carga*, *Caudal* y *Velocidad*.

Emisores: Los mismos datos que en conducciones referidos al conducto asociado al emisor.

Bombas: La casilla *Diámetro* contiene el diámetro de aspiración, la *Velocidad* corresponde a la brida de aspiración, la casilla *Rugosidad* la potencia de la bomba y la casilla *Longitud* difiere cuando el cálculo es de un escenario simple a cuando calculamos una evolución temporal. En el primer caso contiene el texto: “bomba”, mientras que en el segundo caso, contiene la Energía consumida hasta ese momento.

Hay que resaltar que si no hemos calculado las curvas de ajuste Rendimiento-Q y Potencia-Q la casilla *Longitud* tendrá la palabra: “bomba”, aún tratándose de una evolución temporal y la casilla *Rugosidad* se encontrará en blanco.

Válvulas de Regulación Automática: La casilla *Longitud* contiene el texto: “VRP”, “VSP”, “VLQ” según la válvula sea reductora de presión, sostenedora de presión o limitadora de caudal, respectivamente. La casilla *Diámetro* contiene el diámetro de la brida de conexión de la válvula, la casilla *Rugosidad* contendrá los textos “regulando” o “pasiva” según el estado en que se encuentre. La *Velocidad* corresponde a la brida de conexión.

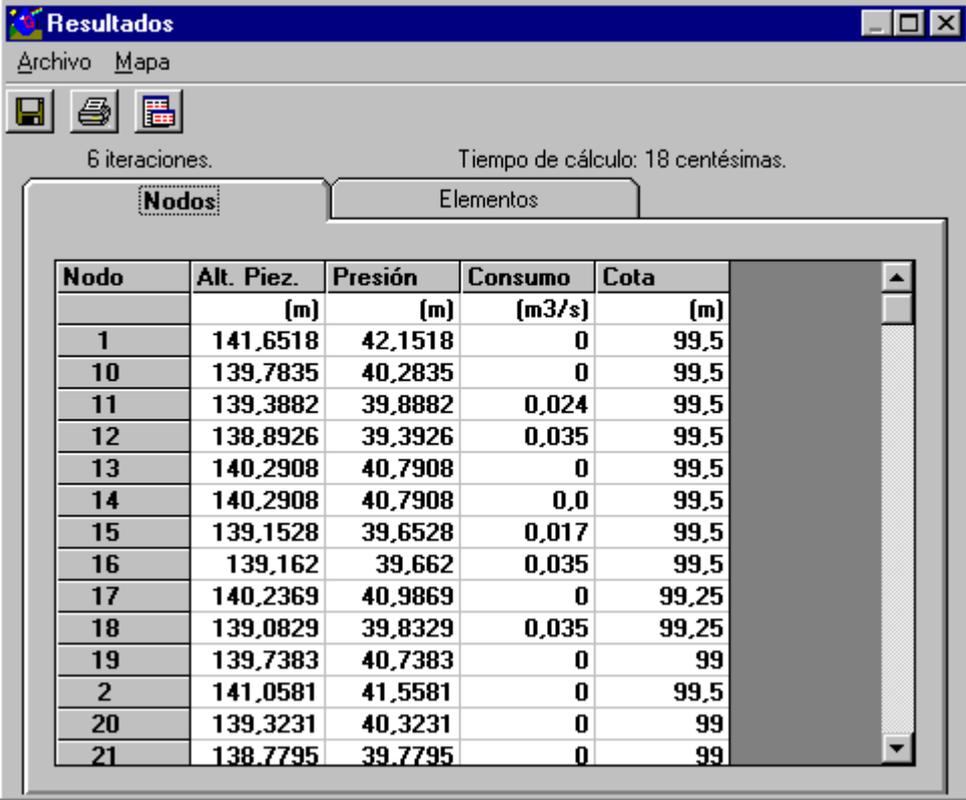
Elemento Indeterminado: Si la opción elegida en la ventana de definición del *Elemento Indeterminado* es la evaluación del coeficiente de resistencia K_s , las casillas *Diámetro*, *Longitud*, *Rugosidad* y *Velocidad* aparecerán en blanco. Si la opción de cálculo es cualquiera de las otras (cálculo del diámetro, longitud o rugosidad, conociendo las otras dos magnitudes) las correspondientes casillas contendrán la información completa del conducto calculado. Cuando el *Elemento Indeterminado* calculado corresponde a un elemento de impulsión, en el menú emergente del Elemento se muestra la altura de impulsión necesaria y el caudal trasegado para la satisfacción de las condiciones impuestas en la red.

Grupo de Diseño Inverso: En la presente versión de *GESTAR* cada elemento componente de un grupo de diseño inverso es una conducción en que, bien el diámetro o la rugosidad, son calculadas por el programa conociéndose el otro parámetro y la longitud. En consecuencia, una vez calculado con éxito un escenario se conocen los datos completos del conducto y se muestran en las casillas respectivas.

Elementos de consumo en ruta: Vemos que, para el caso de los goteros, se utiliza una línea para el gotero, y además, tantas líneas como ramales configuran el gotero total. Esto es debido a que hay algunas propiedades que de un ramal a otro pueden variar, por lo tanto no tienen sentido más que a nivel de ramal, y no a nivel de elemento. Tal es el caso, por ejemplo del diámetro, de la rugosidad o de la velocidad. Aclaremos que la velocidad que se muestra para cada ramal se refiere a la velocidad del fluido a la entrada del ramal, ya que luego variará, al disminuir el caudal a su paso por los emisores. Por otro lado, los datos mostrados en la celda de *Caudal*, se refieren al caudal emitido a lo largo de cada ramal.

Advertir que las unidades del consumo de los elementos de consumo en ruta se dará en l/h. Esto se debe a que los caudales con que trabajan los goteros son mínimos y en la mayoría de los casos, para ser expresados en m³/seg, necesitaríamos de un buen número de decimales para poder ser precisos.

Resaltar también que la tabla para el caso de cálculos con sorteos encadenados varía con respecto a la que se muestra para un cálculo normal a la hora de mostrar los datos de los *elementos de consumo en ruta*. La diferencia estriba en que ahora ya no se muestran los resultados para cada uno de los ramales componentes de un elemento de consumo en ruta, sino únicamente los relativos al elemento propiamente dicho. El motivo de estos cambios ha sido el hecho de no procesar una cantidad de datos estadísticos excesiva para mostrar una información que quizás no resultara realmente valiosa.



6 iteraciones. Tiempo de cálculo: 18 centésimas.

Nodos Elementos

Nodo	Alt. Piez. (m)	Presión (m)	Consumo (m3/s)	Cota (m)
1	141,6518	42,1518	0	99,5
10	139,7835	40,2835	0	99,5
11	139,3882	39,8882	0,024	99,5
12	138,8926	39,3926	0,035	99,5
13	140,2908	40,7908	0	99,5
14	140,2908	40,7908	0,0	99,5
15	139,1528	39,6528	0,017	99,5
16	139,162	39,662	0,035	99,5
17	140,2369	40,9869	0	99,25
18	139,0829	39,8329	0,035	99,25
19	139,7383	40,7383	0	99
2	141,0581	41,5581	0	99,5
20	139,3231	40,3231	0	99
21	138,7795	39,7795	0	99

FIGURA 6.7 Tabla Valores Numéricos

En esta ventana además de las dos tablas independientes, una para nodos y otra para elementos, se muestra información sobre el tiempo (en centésimas de segundo) que se ha necesitado para el proceso de cálculo, así como el número de iteraciones que ha requerido el método de resolución *Newton-Raphson* para alcanzar la convergencia según los criterios fijados en la ventana *Cálculos/ Parámetros* (pág. 165). Esta opción se cambiará en el que caso de ver los resultados de los escenarios válidos de un *Sorteo*

encadenado, por la información de si los resultados que vemos son los máximos, mínimos o medios de las variables en dichos escenarios.

La anchura de las columnas se puede cambiar desplazando las líneas separadoras con objeto de que quepan correctamente las cantidades mostradas en cada casilla.

Por otra parte, entrando en la opción *Mapa/ Señalar* del menú, es posible marcar en la ventana del *Mapa* los nodos y/o elementos que se deseen localizar rápidamente (p.e. para identificar componentes que posean algún valor fuera de rango). Para ello, basta con pulsar con el ratón sobre el identificativo del nodo o elemento en cuestión (columnas grises de la *Tabla de Valores Numéricos*). Un círculo de color sólido, complementario al color del fondo, y centrado en el componente en cuestión aparece en la ventana del *Mapa* de la red. Si se vuelve a hacer clic en la tabla sobre un nodo o elemento ya señalado, el círculo correspondiente desaparecerá. Cuando el componente a señalar se encuentra fuera de la zona del *Mapa* de la red mostrada en la pantalla, *GESTAR* modificará la zona visualizada, manteniendo la escala, y situará el componente buscado en el centro de la pantalla. Las herramientas “zoom” ( y ) eliminan las identificaciones.

Por último, la ventana *Tabla de Valores Numéricos* contiene otras cuatro funciones:

Botón . Ofrece la posibilidad de guardar los resultados en un fichero *ASCII* independiente (extensión “.sal”) de texto. Este fichero podrá ser examinado posteriormente con la opción *Abrir Resultados*, que se encuentra en el menú *Fichero* o editado con un procesador de textos. Opción también disponible en el menú *Archivo/ Guardar*.

Botón . Permite imprimir los resultados. Opción también disponible en el menú *Archivo/ Imprimir*.

Botón . Nos permite seleccionar los tipos de nodos y elementos que queremos que aparezcan en la *Tabla de Valores Numéricos*. Opción también disponible en el menú *Archivo/ Personalizar Tabla*.

Opción *Archivo/ Salir*. Hace desaparecer la ventana *Tabla de Valores Numéricos*.

6.2.3 FICHERO ASCII DE VALORES NUMÉRICOS

Desde la *Tabla de Valores Numéricos* se generan, mediante el botón *Guardar*, ficheros de tipo *ASCII*, que contienen el volcado del contenido de dicha tabla. Estos ficheros, con extensión por defecto “*.sal”, son ficheros de sólo texto donde los campos se encuentran separados por espacios. Denominando adecuadamente los ficheros se pueden almacenar y tener registrados los resultados de diversos escenarios para su comparación y análisis, así como para la documentación de los cálculos.

Asimismo, mediante la opción de *Menú Fichero/ Abrir Resultados* se accede a una ventana de diálogo que permite desplegar en pantalla uno de estos ficheros de salida para comparar interactivamente los valores numéricos guardados de un caso anteriormente calculado, con los resultados mostrados en el *Mapa* actual.

6.2.4 VISUALIZACIÓN DE VALORES NUMÉRICOS.

Tanto antes de calcular, mientras se está construyendo o modificando la red, como después de calculado un escenario, mediante las órdenes *Valores en Nodos* y *Valores en Elementos* del *Menú Ver*, o mediante los iconos  y  equivalentes, es posible la visualización de una magnitud junto a cada nodo y elemento elegida de entre sendas listas de la *Barra de Herramientas* asociadas a los iconos anteriores (pág. 95).

En el caso de los nodos, las magnitudes elegibles son: *Identificativo, Cota, Altura Piezométrica, Dotación, Consumo, Presión, Probabilidad, Presión de consigna, Exceso de Presión, Superficie, Caudal ficticio y Comentario.*

En el caso de los elementos, las magnitudes elegibles son: *Identificativo, Longitud, Diámetro, Rugosidad, Material, Timbraje, Caudal, Velocidad, Pérdida de Carga, Pérdida de Carga por unidad de Longitud y Comentario.*

Se puede cambiar de una a otra sin más que escoger una nueva de las listas contiguas a los botones.

Las magnitudes disponibles pueden no estar definidas en todos los componentes, bien por ser opcionales, bien por no aplicarse a todos los tipos de nodos o elementos, o bien por ser variables que aún no han sido calculadas. Cuando el valor de una magnitud no está definida en un componente por alguna de estas razones, no se visualiza ningún valor numérico o alfanumérico en el mismo.

Las magnitudes que se seleccionan para la visualización permanecen de una simulación a otra, desapareciendo los valores numéricos de las magnitudes que son resultado del cálculo una vez se eliminan los resultados anteriores.

6.2.5 LISTADO EMERGENTE DE VALORES NUMÉRICOS.

Para mostrar a la vez el valor de las magnitudes más relevantes en la simulación hidráulica de cada nodo o elemento se debe pulsar con el botón secundario del ratón sobre el nodo o un punto del elemento en cuestión.

Antes de haber efectuado la simulación de un escenario, al situar el ratón sobre cualquier nodo o elemento y pulsar el botón secundario, se despliega un menú con los datos más relevantes de configuración de cada componente, indicando en gris qué magnitudes del componente son desconocidas y no pueden ser mostradas porque aun no

han sido calculadas. Las magnitudes que son conocidas o desconocidas dependen del tipo de nodo o elemento.

Cuando el *Mapa* de la red refleja un escenario ya simulado, la ventana emergente se muestra con los valores de todas las magnitudes, incluyendo tanto los valores que han sido dados como dato como aquellos que han sido obtenidos del cálculo, como se puede ver en la FIGURA 6. 8.

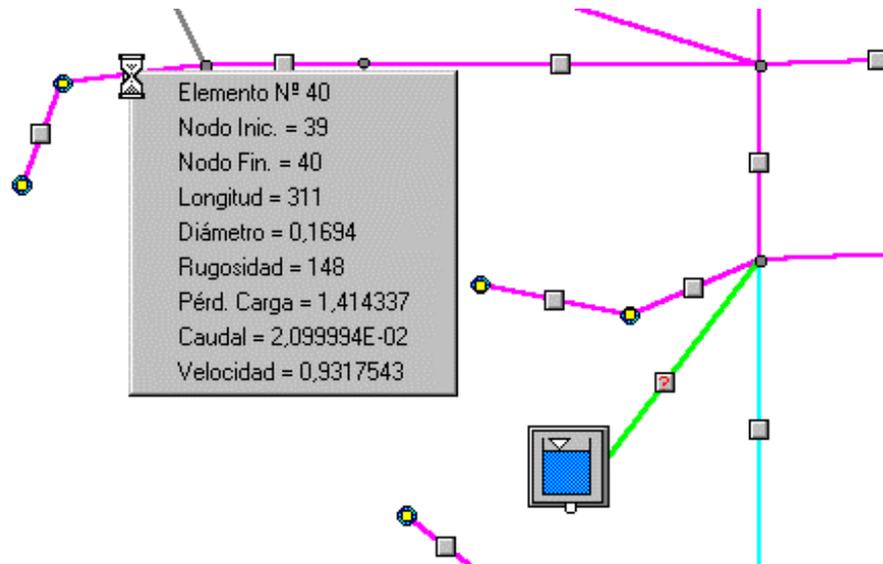


FIGURA 6. 8 Listado Emergente de Valores Numéricos.

Las magnitudes reflejadas tras la simulación en las ventanas emergentes son idénticas para todos los nodos (*Identificativo, Cota, Consumo, Altura Piezométrica, Altura de Presión*) pero difieren en el caso de los elementos. Así en los *Elementos Conducción, Emisores y Elementos Indeterminados* pasivos (en que no se calcule K_s), los datos mostrados coinciden con los que aparecen en la FIGURA 6. 8. Las *Válvulas Regulatoras Automáticas, Bombas, Elementos de consumo en ruta y Elementos Indeterminados* activos, o en los que se determine K_s , la ventana emergente contiene información adaptada a las características del elemento. Las conducciones que forman parte de los *grupos de diseño inverso* se asimilan a las conducciones a la hora de mostrar resultados (cuando no se ha calculado todavía la red, en el menú emergente se informa de que la variable incógnita no se ha calculado).

Asimismo en los menús contextuales para los *elementos de consumo en ruta* tras un cálculo con sorteos encadenados (escenarios válidos), se muestran los valores máximo, medio mínimo para ciertos resultados.

6.2.6 EXPORTACIÓN DEL ESCENARIO A ACCESS.

Como ya se ha señalado, existe la posibilidad de crear una base de datos de tipo *ACCESS* que contenga toda la información relativa al escenario mostrado en el *Mapa* (salvo los grupos de diseño inverso) mediante el comando *Fichero/ Exportar/ Base de datos Access*. Esta base de datos incluye tanto los valores parámetros constructivos de la

red y condiciones de contorno impuestas como los valores de las variables calculadas en nodos y elementos. La estructura de las *Tablas* de esta base de datos se describe en detalle en el Capítulo 7 , donde se trata de la comunicación entre *GESTAR* y *ACCESS* (ver pág. 207).

En las *Tablas* referentes a cada tipo de nodo y elemento existen unos campos (*ConsumoCalc*, *AltPiezCalc*, *Caudal*, *Velocidad*, *PérdidaCarga*, etc.) que recogen dichos valores, de modo que los resultados pueden ser procesados y analizados posteriormente desde *ACCESS*. En la siguiente figura (FIGURA 6. 9) se muestra como ejemplo la *Tabla* que recoge los campos de las magnitudes correspondientes a los *Nodos de Unión* de una red. Aparece para cada uno de los nodos, en último lugar, el campo *AlturaPiezom*, que refleja los valores calculados de altura piezométrica existentes en el *Mapa* que se ha exportado, mientras que los otros campos corresponden a la posición y cota, que son datos conocidos, de los mismos nodos. Si el *Mapa* exportado de la red no contiene resultados, los campos asociados a las variables a calcular quedarán vacíos.

Nodos de unión : Tabla						
	Id	X	Y	Cota	Comentario	AlturaPiezom
▶	1	104625,5	67711,6	99,5	@	142,2465
	2	81497,8	67711,6	99,5	@	141,6528
	3	53138,77	58307,21	99,5	@	141,3807
	9	126927,3	67711,6	99,5	@	141,8299
	10	153634,4	68338,56	99,5	@	141,6232
	13	130781,9	110344,8	99,5	@	141,1469
	17	104625,5	116927,9	99,25	@	140,9465
	19	104625,5	168321,3	99	@	140,4931
	25	125000	173040,8	99	@	139,9136
	26	152257,7	174921,6	99	@	139,1912
	31	104625,5	247022	99	@	139,9337
	20	92511,02	172413,8	99	@	140,0779
	21	78193,83	173040,8	99	@	139,5345
	34	133810,6	250156,8	99	@	138,4304
	37	104625,5	292163	98	@	139,1596
	38	66079,3	292865,8	96,5	@	137,8683
	39	50660,79	292238,8	96,5	@	137,3995
	41	67180,62	263398,7	96,5	@	137,2255
	45	127478	294119,7	97	@	138,4712
	48	104625,6	355485,9	96,5	@	139,0865
	50	148953,8	359323,4	96,5	@	137,8289
*						

Registro: 1 de 21

FIGURA 6. 9 Tabla del *Mapa* exportado a *ACCESS* con campo de resultados.

6.2.7 TABLAS Y GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN TEMPORAL.

Después de ejecutarse una evolución temporal, *GESTAR* posibilita la obtención de representaciones gráficas en las que se visualiza el valor a lo largo del tiempo de una o más variables seleccionadas por el usuario.

Para acceder a estos recursos, tras haber realizado los cálculos de la *Evolución Temporal* (ver pág. 83) y mientras se están visualizando en el *Mapa* de la red los resultados codificados, se pulsará el botón *Gráficos* (botón ) y se abrirá la ventana *Tablas para Gráficos* (FIGURA 6. 10).

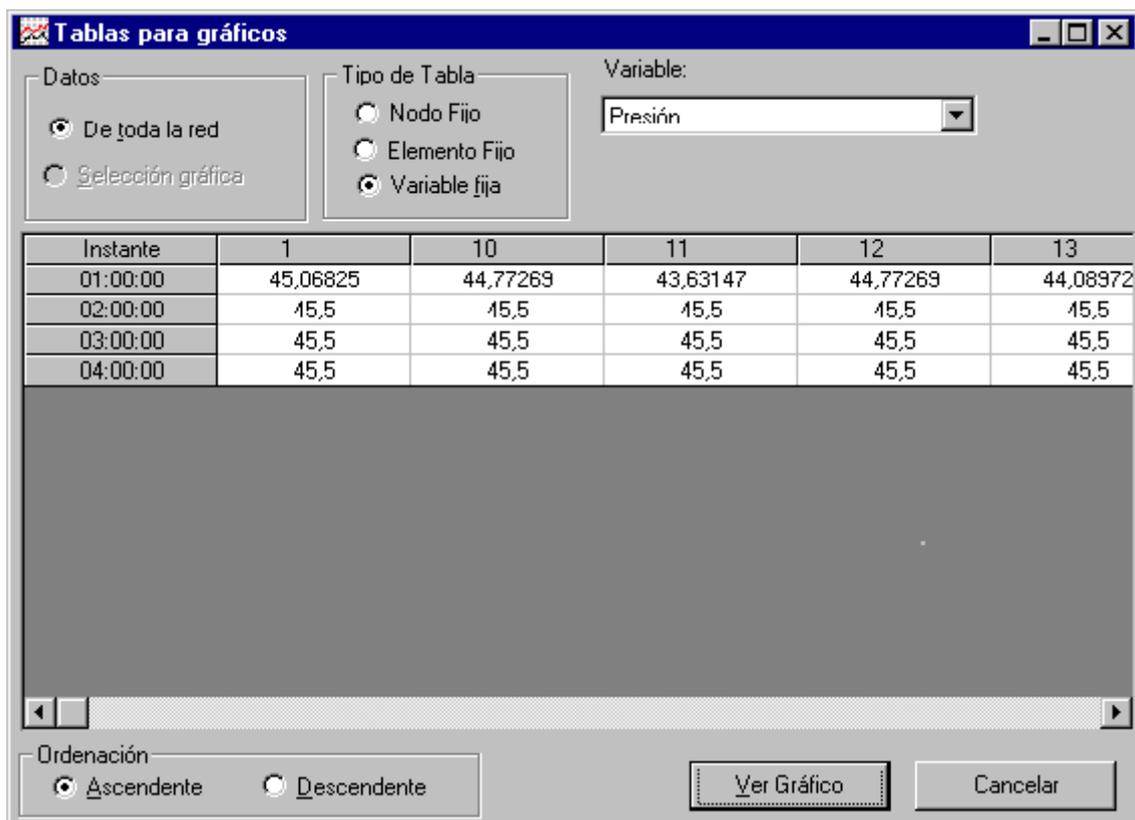


FIGURA 6. 10 Tablas para Gráficos.

La Tabla de esta ventana muestra los valores de las diversas variables susceptibles de ser representadas gráficamente, en función del tipo de tabla que se elija entre las opciones disponibles. Cada fila de la Tabla de la FIGURA 6. 10 corresponde a uno los instantes definidos en la evolución temporal calculada, mientras que cada columna está asociada a un nodo, a un elemento o a una variable determinada de un nodo o elemento, según la elección que se realice en las opciones que ofrece esta ventana. En la parte superior aparecen los bloques, *Datos* y *Tipo de Tabla*, que sirven para seleccionar las restricciones y tipos de variables a visualizar. En el bloque *Datos* se indicará si las opciones de visualización correspondientes a los Tipos de Tablas se aplican sobre todos los componentes de la red o sólo sobre los previamente seleccionados, aspectos que seguidamente se describen con más detalle:

- ◆ **Datos:** Si antes de pulsar el botón *Gráficos* (botón ) se ha establecido una *Selección* (ver pág. 96), en la *Tabla para Gráficos* la casilla *Selección Gráfica* se encontrará activada. En tal caso solamente serán accesibles los datos correspondientes a los nodos y/o elementos seleccionados. Cuando se activa la casilla *De toda la red*, se accederá a los datos de todos los complementos, opción que será reversible respecto a la anterior. Si previamente no se ha seleccionado gráficamente componentes sobre el *Mapa de la Red* la ventana se configurará con la opción *De toda la red* y la casilla *Selección Gráfica* no podrá ser activada.
- ◆ **Tipo de tabla:** Dispone de tres opciones, que permiten definir el tipo de tabla y, por tanto, el tipo de variables que aparecerán en la representación gráfica:

Nodo Fijo: Con esta opción se pueden visualizar las magnitudes hidráulicas concernientes a un sólo nodo (*Presión, Altura Piezométrica, Consumo*). El nodo se debe definir en la lista desplegable contigua, donde se selecciona el tipo de nodo y el identificativo del nodo en cuestión (ver FIGURA 6. 11).



FIGURA 6. 11 Tablas para gráficos. Nodo fijo.

Elemento Fijo: Similar al anterior, pero para elementos. Las magnitudes que se muestran son *Velocidad*, *Caudal* y *Pérdida de Carga* a través del elemento.

Variable Fija: Tras seleccionar una variable de entre las siguientes *Presión*, *Altura Piezométrica*, *Consumo*, *Velocidad*, *Caudal* y *Pérdida de Carga* en la lista desplegable contigua, en cada columna de la tabla se establecen los valores que adopta dicha variable en cada nodo o elemento, según proceda por el carácter de la variable seleccionada, presente en el conjunto definido por el bloque *Datos*.

- ◆ **Ordenación:** Casilla de selección que permite reordenar las filas de toda la tabla en función de los valores de una columna. Para realizar esta ordenación, se debe activar el tipo correspondiente (*Ascendente* o *Descendente*) y, a continuación, hacer **dobles clic** en el encabezamiento de una columna. Automáticamente se modificará la ordenación de las filas de la tabla para adaptarse al orden creciente o decreciente de los valores de la columna elegida. Esta operación es también válida para la primera columna de la tabla (columna *Instante*). **Atención:** La representación gráfica subsiguiente a una reordenación se realizará según el orden mostrado en la columna *Instante*, por tanto si se desea conservar el carácter temporal de la representación gráfica después de haber procedido a alguna reordenación que altere la secuencia temporal realice una ordenación de la columna *Instante* en orden creciente.

Una vez adecuada la *Tabla para Gráficos* a las necesidades del usuario mediante las operaciones arriba descritas, se puede proceder a la representación gráfica.

Los gráficos que *GESTAR* proporciona tienen siempre como variable asociada al eje de abscisas (eje horizontal) la variable tiempo, particularizada en los instantes definidos en la ventana *Evolución Temporal*. En el eje de ordenadas se representan los valores de las variables que el usuario seleccione, tal como se describe a continuación.

La selección de la variable o variables a representar gráficamente se realiza haciendo clic en el encabezamiento de la columna correspondiente de la tabla. Las columnas seleccionadas pasan a tener un fondo de color azul. Para cancelar la selección de una columna previamente seleccionada, basta con volver a hacer clic en su encabezamiento.

Al pulsar el botón *Ver Gráfico*, *GESTAR* procede a mostrar la representación gráfica de las columnas seleccionadas en la ventana *Gráfico de Evolución Temporal* (FIGURA 6. 12).

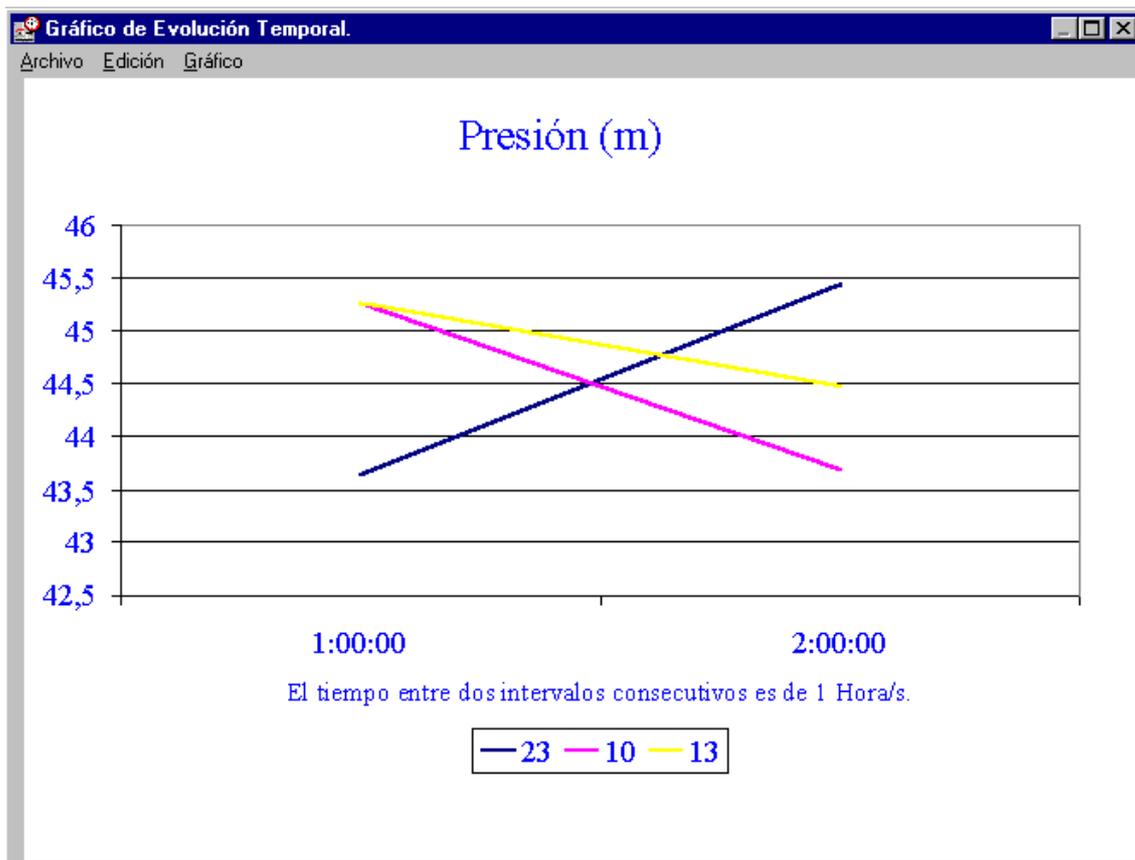


FIGURA 6. 12 Gráfico de Evolución Temporal.

Cada variable aparecerá representada con un color asignado por defecto por el programa. Para una mayor claridad y mejor identificación de las variables representadas se recomienda visualizar simultáneamente menos de 10 parámetros. Según la selección hecha en *Tablas para Gráficos* aparecerá un encabezamiento del gráfico que identificará la variable (con sus unidades), el nodo o el elemento que han sido seleccionados para representar en el bloque *Tipo de Tabla*. En la parte inferior del

gráfico, bajo el eje de abscisas, una leyenda asociará cada línea de color a la nomenclatura del nodo o elemento del que se muestra la variable fija, o bien las distintas variables (con sus unidades) que aparecen en la figura para un elemento o nodo determinado, todo ello según se haya especificado en el bloque *Tipo de Tabla* de la *Tabla para Gráficos*.

Aparte, como vemos, existe un menú de opciones en la parte superior de la ventana en donde vamos a tener diversas opciones: de configuración de la tabla en su aspecto, otras de tratamiento de la información y otras de optimización de los datos. Ahora las pasamos a describir:

- **Menú Archivo/ Exportar.** Desde aquí tenemos 2 opciones para meter los datos del gráfico, o en formato Excel, donde metemos los datos numéricos en una hoja de cálculo y el gráfico como dibujo en otra, o en formato de texto donde tenemos únicamente los datos numéricos.
- **Menú Archivo/ Imprimir.** Aquí imprimiremos el dibujo.
- **Menú Archivo/ Salir.** Con esta opción cerraremos la ventana del gráfico.
- **Menú Edición/ Copiar.** Esta opción nos hará una copia de la imagen en el portapapeles.
- **Menú Gráfico/ Leyenda.** Aquí podremos elegir si queremos que esté la leyenda de nodos en la ventana o no.
- **Menú Gráfico/ Título.** Con esta opción nos aparecerá otra ventana desde la cual podremos darle un nombre a esta tabla.
- **Menú Gráfico/ Ver datos.** Si deseamos que estén los datos numéricos sobre impresos en las líneas de los gráficos accederemos a esta opción. Cuidado al tener muchos nodos en la tabla ya que los datos se superpondrán y podrá a llegar a hacerse la información ininteligible.
- **Menú Gráfico/ Escala.** Aquí tenemos la posibilidad de poner los valores en una escala logarítmica. Esto nos permitirá homogeneizar todos los valores, quitando protagonismo a los que sean muy extremos.
- **Menú Gráfico/ Optimizar.** Dado que en un mismo gráfico cabe la posibilidad de representar distintas variables o una misma variable con valores absolutos muy distintos entre sí, esta opción realiza una presentación de tipo exponencial donde la escala vertical muestra la mantisa (entre 0 y 10) mientras en la leyenda indica la potencia de 10 por al que hay que multiplicar los valores leídos para obtener los valores absolutos.
- **Menú Gráfico/ Tipo de gráfico.** Desde aquí podremos meter al gráfico marcadores en las líneas, para poder distinguir donde tenemos los datos en la gráfica. Opción *Líneas con marcadores* para ponerlos, opción *Líneas sin marcadores* para quitarlos.

7. COMUNICACIÓN EXTERNA

GESTAR ofrece la posibilidad de intercambiar información con otras aplicaciones.

Existe la opción *Fichero/ Exportar*, para enviar los datos de la red a una base de datos tipo *ACCESS*, y para convertir la información de los ficheros de *GESTAR* a los formatos de entrada de datos de *DIOPRAM* y de *EPANET*¹¹ *l.e.*

Asimismo es posible, mediante el comando *Fichero/ Importar*, abrir ficheros de *ACCESS* que contengan información de redes, así como ficheros provenientes de *DIOPRAM*⁹, que previamente hayan sido generados mediante *GESTAR*.

También existe una comunicación con *AutoCAD* en sus versiones *2000*, *2000i* y *Map 2000*. Para esta comunicación es necesaria la utilización de *GestarCAD* (ver Anexo VIII, pág. 285).

GESTAR también posibilita el predimensionado de redes estrictamente ramificadas mediante la aplicación *DIOPCAL* (ver pág. 69).

7.1 COMUNICACIÓN CON ACCESS.

GESTAR ofrece la posibilidad de abrir, guardar, modificar, analizar o incluso crear una red desde una aplicación externa como es *ACCESS*.

Esta utilidad resulta sumamente práctica puesto que pone a disposición del usuario de *GESTAR* la potencia y flexibilidad que la información estructurada en bases de datos posee. De esta manera es posible inspeccionar datos y resultados, localizar y correlar parámetros, identificar automáticamente puntos críticos, analizar estadísticamente resultados, realizar cambios sistemáticos, condicionados o globales, búsquedas selectivas, etc. Asimismo es posible realizar la generación automática de escenarios volcando informaciones topológicas y constructivas desde otras bases de datos, hojas de cálculo, Sistemas de Información Geográfica...

Mediante la opción *Fichero/ Exportar/ Base de datos Access* se exporta la estructura y los datos de una red de *GESTAR* a una base de datos tipo *ACCESS* (extensión “.mdb”), desde donde se pueden modificar si se desea los valores de los parámetros de la red. Este tipo de base de datos se podrá posteriormente leer desde *GESTAR* con la opción *Fichero/ Importar/ Base de datos Access*.

7.1.1 EXPORTACIÓN DE UNA RED COMO BASE DE DATOS.

El almacenamiento de una red en formato de base de datos (mediante el comando *Fichero/ Exportar/ Base de datos Access*) posee una característica fundamental que lo diferencia del almacenamiento directo de la red en formato “.red” (mediante la opción *Fichero/ Guardar Red*). En la base de datos, los componentes de la red se encuentran agrupados por tipos en diferentes tablas, en un formato editable y modificable por el usuario, mientras que en un fichero “.red” se recogen en formato binario los datos de la red para su almacenamiento y posterior lectura desde el programa *GESTAR*.

El almacenamiento de la red como base de datos es útil asimismo para preparar las mediciones antes de acometer una obra determinada. Si se dispone del fichero “.mdb” correspondiente, se pueden desglosar o agrupar de manera rápida y flexible listados de los elementos necesarios para ejecutar dicha red.

La base de datos creada con la opción mencionada presenta la apariencia de la FIGURA 7. 1 cuando se abre desde *ACCESS*.

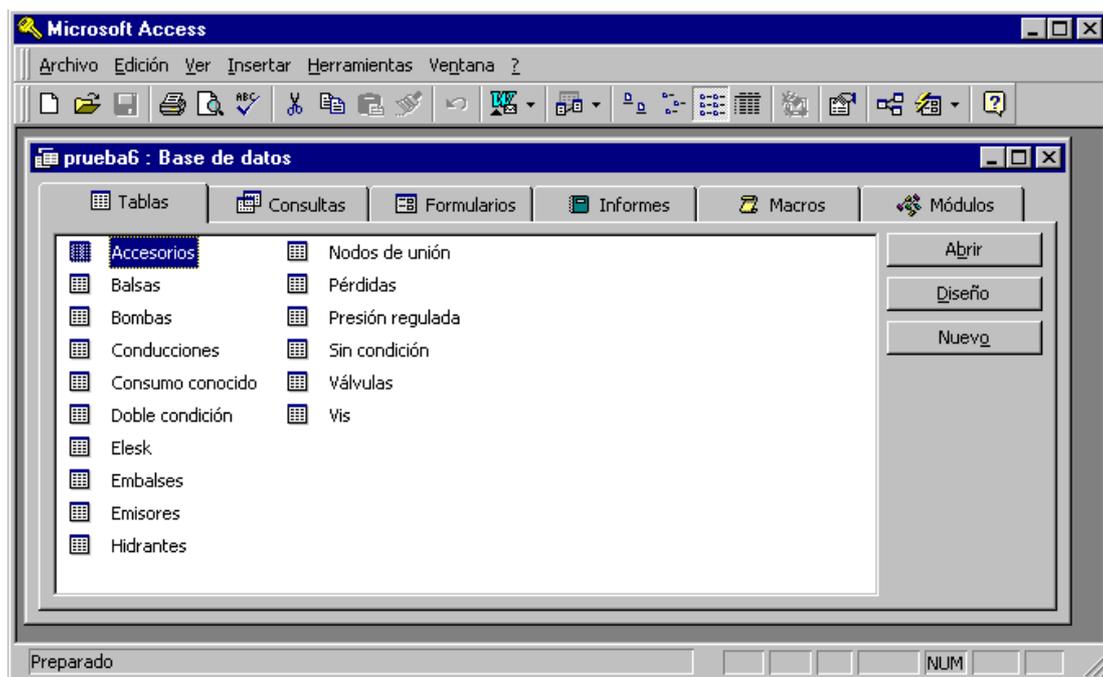


FIGURA 7. 1 Red de *GESTAR* como base de datos.

La base de datos creada por *GESTAR* contiene un total de 16 tablas que recogen toda la información de la red presente en la ventana gráfica en el momento de su creación, incluyendo, en su caso, los valores de las variables hidráulicas del cálculo si este se ha realizado. Con el fin de conseguir una estructura homogénea en las bases de datos que recogen la información de cualquier red de *GESTAR*, las 16 tablas serán creadas en la base de datos con independencia de que exista o no la información respectiva. Por ejemplo, aunque en una red no existan *Nodos Balsa* se creará la tabla *Balsas*, pero permanecerá vacía.

A continuación se muestra la lista de tablas con la página de este manual donde se recoge la información relativa al nodo o elemento recogido en cada tabla:

- ◆ **Accesorios.** Información de los accesorios asociados a los Elementos Conducción (pág. 116) o a los tramos asociados a los Nodos Emisores (pág. 112).
- ◆ **Balsas.** Información de Nodos Balsa (pág. 103).
- ◆ **Bombas.** Información de Elementos Bomba (pág. 132).
- ◆ **Conducciones.** Información de Elementos Conducción (pág. 116). Por lo general, esta tabla será la más extensa, puesto que el elemento básico de toda red de riego es la tubería. Como GESTAR puede tomar los datos de las tuberías de una completa base de datos, el listado de las conducciones de la red resulta muy completo y útil.
- ◆ **Consumo conocido.** Información de Nodos de Consumo Conocido (pág. 104).
- ◆ **Doble condición.** Información de Nodos con Doble Condición (pág. 110).
- ◆ **Elesk.** Información de Elementos sin Característica Pasiva (pág. 139).
- ◆ **Embalses.** Información de Nodos Embalse (pág. 102).
- ◆ **Emisores.** Información de Nodos Emisores (pág. 112).
- ◆ **Hidrantes.** Información de Nodos Hidrantes Reguladores (pág. 107).
- ◆ **Nodos de unión.** Información de Nodos de Unión (pág. 101).
- ◆ **Pérdidas.** Listado de todas las pérdidas singulares existentes en la red. En uno de los campos de esta tabla se relacionan las pérdidas con los tramos donde se producen: los Elementos Conducción (pág. 116) o los tramos asociados a los Nodos Emisores (pág. 112).
- ◆ **Presión regulada.** Información de Nodos de Presión Regulada (pág. 103).
- ◆ **Sin condición.** Información de Nodos sin Condición (pág. 111).
- ◆ **Válvulas.** Información de Elementos Válvula (pág. 135).
- ◆ **Vis.** Información de los parámetros de visualización de la red: tamaño de mapa y parte visible de éste. Éstos parámetros son modificables en GESTAR mediante la opción Ver/ Escala (pág. 153).

En el Anexo IX (pg. 287) se describen brevemente los campos de cada una de las tablas.

Cualquier información de la base de datos puede ser modificada desde *ACCESS*, de manera que si se vuelve a introducir la información en *GESTAR* mediante la opción *Fichero/ Importar/ Base de datos Access*, los cambios serán tenidos en cuenta.

Es muy importante recordar que si antes de exportar a formato *ACCESS* una red, ésta ha sido calculada (es decir, ha sido simulada hidráulicamente, obteniéndose unos resultados de presión, pérdida de carga, velocidad, caudal, etc.), los resultados de los cálculos también se almacenan en la base de datos. Estos datos se guardan en la tabla de nodos o elementos correspondiente en cada caso; de este modo, por ejemplo, el valor del caudal que atraviesa una tubería concreta quedará almacenado en la tabla *Conducciones*, en el campo *Caudal* y en la fila correspondiente al tramo en cuestión (mirar Anexo IX pág.287).

7.1.2 IMPORTACIÓN DE UNA BASE DE DATOS.

Como ya se ha señalado, el comando *Fichero/ Importar/ Base de datos Access* posibilita recuperar una red en formato de base de datos para visualizarla en el modo habitual de *GESTAR*.

Todas las modificaciones que desde *ACCESS* se hayan realizado en la red serán tenidas en cuenta a la hora de importar la red.

La base de datos incluye también los valores de las variables (consumo, altura piezométrica, caudal, velocidad, pérdida de carga) provenientes del último cálculo hidráulico realizado antes de la exportación de la red. En las tablas referentes a cada tipo de nodo y elemento existen unos campos (*ConsumoCalc*, *AltPiezCalc*, *Caudal*, *Velocidad*, *PérdidaCarga*) que recogen dichos valores, de modo que los resultados pueden ser analizados desde *ACCESS*.

Exportar una red a un formato de base de datos para efectuar desde *ACCESS* análisis o modificaciones en la red y a continuación importar la red es una operación que puede resultar muy útil para propósitos diversos.

Por ejemplo, si se tiene una red en la que no todos los tramos son del mismo material y se desea conocer qué sucedería si todas las tuberías fueran de *PVC*, existen dos procedimientos para hacerlo:

- ◆ Se puede, en la ventana gráfica de *GESTAR*, hacer doble clic en todos y cada uno de los tramos de la red, para verificar si son de *PVC* y cambiar el material en los casos que proceda. Evidentemente, este procedimiento resulta muy laborioso en una red de tamaño medio.
- ◆ El segundo método de trabajo para realizar el cambio de material de los tubos pasa por utilizar las bases de datos. El primer paso consistiría en exportar la red a formato “.mdb”. A continuación, desde *ACCESS* se debería editar la tabla *Conducciones* para rellenar el campo *Material* con *PVC* y el campo *Rugosidad* con el valor que se quiera adoptar para dicho material. Por último, solamente restaría importar la base de datos modificada para realizar los cálculos pertinentes desde *GESTAR*. Como es fácil adivinar, este procedimiento resulta mucho más rápido que el anterior, amén de más fiable, metódico y sencillo.

7.2 COMUNICACIÓN CON DIOPRAM.

Existe la posibilidad de obtener el dimensionado óptimo de una red ramificada para conducción de agua mediante la conexión de *GESTAR* con el programa *DIOPRAM* (*Diseño Optimo de redes RAMificadas*).

GESTAR también posibilita el predimensionado de redes estrictamente ramificadas mediante la aplicación *DIOPCAL* (ver pág. 69).

DIOPRAM es un programa de dimensionado de redes de distribución estrictamente ramificadas en que la topología y las demandas están impuestas, mediante técnicas de programación lineal. *DIOPRAM* fue desarrollado en el Área de Mecánica de Fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia. La versión de *DIOPRAM* con la que *GESTAR* intercambia datos es la 1.03R programada en *TurboBasic* para el sistema operativo *Ms-DOS*. La introducción de datos e interpretación de los resultados de tipo alfanumérico, sin soporte gráfico, resulta dificultosa y expuesta a múltiples errores. Por otra parte, *DIOPRAM* carece de herramientas de simulación del comportamiento de la red, concluyendo sus resultados con la asignación de materiales, diámetros y timbrajes a los conductos del sistema. Puesto que *DIOPRAM* constituye un programa relativamente extendido y eficaz en sus propósitos, se han incluido opciones en *GESTAR* que facilitan el empleo de *DIOPRAM* gracias a la explotación de las utilidades del “interface” gráfico de *GESTAR* en la carga de datos de *DIOPRAM*. Por otra parte, la adquisición de los resultados provenientes de *DIOPRAM* es automática si la carga de datos de *DIOPRAM* se ha efectuado previamente con *GESTAR*, agilizándose el proceso y evitándose errores de carga.

DIOPRAM es una aplicación distribuida bajo licencia por la Universidad Politécnica de Valencia, que lógicamente no se suministra con la versión actual de *GESTAR*, de pleno dominio público. No obstante, existe una versión de demostración de *DIOPRAM*, limitada en cuanto al número de elementos máximo a dimensionar (20) y en cuanto al contenido y estructura de las bases de datos de materiales (2), que puede también comunicarse con *GESTAR*, reconociendo este último programa, según el contenido de la base de datos suministrada, si se trabaja con una versión licenciada de *DIOPRAM* o con la demostración educativa.

GESTAR soporta la creación de los ficheros que necesita *DIOPRAM* para su ejecución sin modificar ni extender las características de *DIOPRAM*. En consecuencia **EL USUARIO DEBERÁ RESPETAR ESCRUPULOSAMENTE LAS LIMITACIONES Y CONVENIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA INFORMACIÓN EN *DIOPRAM***, tal y como se describe en el manual de dicha aplicación, así como conocer el alcance, limitaciones, terminología,...de *DIOPRAM* antes de enfrentarse al uso de los correspondientes tareas.

Una vez obtenida la red optimizada mediante *DIOPRAM* se pueden importar los datos de material, timbraje y diámetro óptimos mediante la opción *Fichero/ Importar/ Dimensionado Diopram*.

La transferencia de los datos introducidos mediante *GESTAR* a *DIOPRAM* consta de dos etapas:

ETAPA 1: Generación de topología y demandas.

ETAPA 2: Configuración de parámetros del diseño.

ETAPA 1: Generación de topología y demandas

La explotación de *DIOPRAM* deberá comenzar construyendo la topología de la red respetando las siguientes restricciones de *DIOPRAM*:

- ◆ El nudo de cabecera llevará siempre el identificativo de nudo cero y no podrá nunca salir más de una línea de él.
- ◆ La forma de identificar un nudo (excepto el de cabecera, que siempre será 0), será asignando un número natural de 3 cifras. No se admiten números negativos ni mayores de 999.
- ◆ En cada línea (Elemento Conducción o Bomba) se indica el nudo aguas arriba y el nudo aguas abajo SEGÚN EL SENTIDO DE CIRCULACIÓN DEL AGUA. No puede haber dos líneas con el mismo nudo aguas abajo.

Además la topología y las demandas se cargarán combinado exclusivamente las siguientes entidades:

- ◆ *Nodos de Consumo Conocido*: equivalen a los puntos de demanda de *DIOPRAM*. El valor del consumo que se comunica a *DIOPRAM* corresponde a la casilla de demanda instantánea y la cota es la que se especifica en la casilla correspondiente. En el caso de que el cálculo de los caudales de diseño vaya a efectuarse mediante el método de *Clement* es imprescindible introducir valores de *Superficie Regada* en la casilla correspondiente de cada nodo ya que estos se transmiten a *DIOPRAM*. No así sucede en los valores de caudal ficticio continuo y rendimiento de cada nodo, valores que para *DIOPRAM* se adjudican posteriormente, de forma global, en una ventana de diálogo que aparece en la segunda etapa de el proceso de intercambio. Todos los *Nodos de Consumo Conocido* deberán encontrarse abiertos en el momento de comenzar la transferencia a *DIOPRAM*, de lo contrario se tomarán como nodos de consumo nulo.
- ◆ *Nodos de Unión*: Serán tomados como nodos de demanda nula, de los que se transfiere la cota y un caudal nulo.
- ◆ *Nodo de Presión Regulada* (y *Nodo Embalse*): podrá situarse sólo en cabecera para indicar el único punto de alimentación con la cota de la superficie libre conocida. La altura de presión que se especifique no se transmitirá a *DIOPRAM*.
- ◆ *Elemento Conducción*: la longitud que figure en la casilla correspondiente será la transmitida. El diámetro de la conducción será un valor no nulo arbitrario, ya que *DIOPRAM* definirá ese diámetro en el transcurso de la optimización. **ATENCIÓN: En la casilla Comentario del Elemento Conducción deberá especificarse el caudal de diseño de la línea (m³/s) en caso de que se desee trabajar con la opción de dimensionado de *DIOPRAM* que asigna a las líneas caudales de**

diseño especificados directamente por el usuario. Ninguna otra información que sea cargada en las conducciones será transmitida a *DIOPRAM*, por lo que en esta fase, los aspectos relativos a pérdidas singulares, válvulas, etc., pueden obviarse. Asimismo se ignoran las selecciones de material, timbraje, diámetro, rugosidad que se asignen, que de hecho serán evaluadas por *DIOPRAM* y sobrescritas en la fase de importación de resultados. Los identificativos de los elementos, al contrario de lo que sucede con los de los nodos, pueden ser arbitrarios puesto que *DIOPRAM* los asigna en función de los identificativos del nodo final del elemento. Por último, conviene aclarar que la base de datos de materiales de tuberías de *GESTAR* y *DIOPRAM* son independientes, y por tanto, los valores que se importen no son necesariamente componentes de la base de datos de *GESTAR*.

- ◆ *Elemento Bomba*: conviene emplear siempre un elemento bomba para definir la primera línea de la red (la que tiene aguas arriba el nodo 0) cuyos parámetros de definición son arbitrarios puesto que *DIOPRAM* establecerá las alturas necesarias de impulsión, de ser necesarias. Si la altura de presión cabecera es dato (no se optimiza ningún bombeo) al especificarse este hecho en la ventana que aparecerá en la ETAPA 2, se ignora la existencia de bombeo en la red. Cuando la altura de cabecera sea una variable a calcular mediante *DIOPRAM* (se optimiza el bombeo) es imprescindible indicarlo trazando un *Elemento Bomba* como conducción de cabecera.

ETAPA 2: Configuración de parámetros del diseño

Desde *GESTAR*, una vez definida la topología y las demandas de la red a dimensionar, mediante la opción *Fichero/ Exportar/ Predimensionado Diopram*, arranca un proceso que genera un fichero de la red en formato *DIOPRAM*. Posteriormente, desde este último programa se abre y ejecuta el caso hasta conseguir el dimensionado óptimo de la red hidráulica.

El nombre de las variables y términos aparecen en las sucesivas ventanas de intercambio y coinciden con las que define *DIOPRAM*. Nuevamente se remite al manual de *DIOPRAM* para la correcta comprensión e interpretación de cada término.

La exportación *Fichero/ Exportar/ Predimensionado Diopram* presenta la ventana inicial de advertencia recogida en la FIGURA 7. 2.



FIGURA 7. 2 Exportar Red a DIOPRAM.

Para la correcta ejecución de esta opción es conveniente conocer las limitaciones que tiene el programa *DIOPRAM*; para ello si no se está familiarizado con dicho programa, conviene pulsar el botón *Ver Limitaciones* de dicha ventana.

Toda la información referente a los materiales de las tuberías está contenida en el fichero *MATDIS* que se incluye con el programa *DIOPRAM*.

Desde la ventana anterior, continuando con la exportación de la red en formato *DIOPRAM*, aparece sucesivamente una serie de cuadros de diálogo recogidos en las figuras comprendidas entre la FIGURA 7. 3 y la FIGURA 7. 7. En los dos primeros (FIGURA 7. 3 y FIGURA 7. 4) se piden datos de la red para *DIOPRAM* y datos de configuración de la red (optimización mediante caudales de consumo, de línea o mediante caudales de *Clement*).

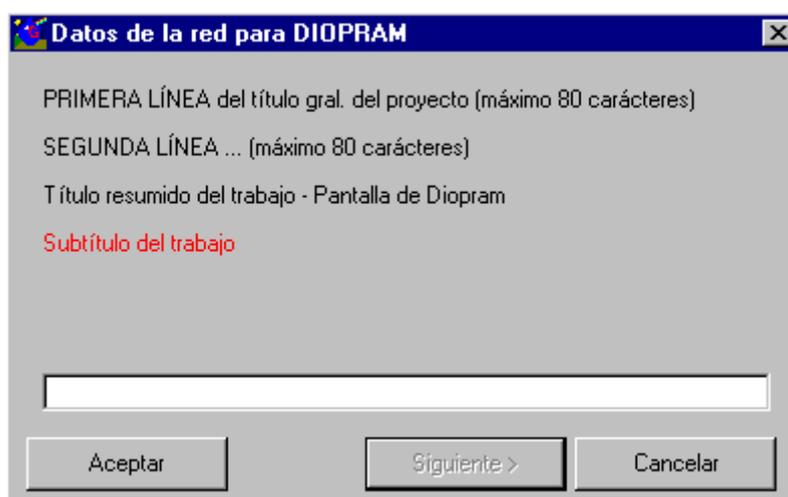


FIGURA 7. 3 Datos de la Red para DIOPRAM.

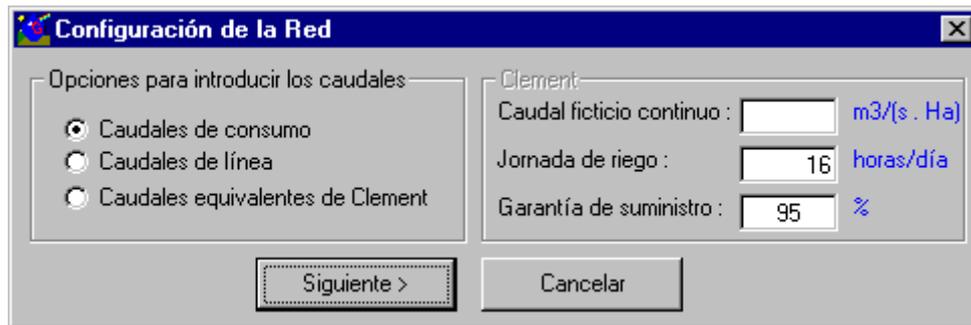


FIGURA 7. 4 Configuración de la Red.

El programa realiza un chequeo de la red, comprobando si la red es ramificada, los identificativos de los nodos son los correctos... pasando si corresponde al cuadro de diálogo *Criterios de Diseño* (FIGURA 7. 5) donde se debe especificar la presión en cabecera de la red (este valor será dato e igual a cero si no hay bomba en el nodo de cabecera; si la hay, podrá ser dato -en cuyo caso equivale a cancelar la bomba- o incógnita, lo que confirma la existencia de un grupo de bombeo); el grado de seguridad para los timbrajes (metros de columna de agua con que se incrementa la presión estática calculada); la presión mínima para realizar la optimización (se dispone de tres opciones excluyentes entre sí: presión mínima en todos los nodos de consumo, opción no disponible si se ha elegido la optimización mediante caudales de línea, presión mínima en todos los nudos extremos o presión mínima en todos los nudos); y la opción introducir valores de presión mínima a tener en determinados nudos, que no es excluyente con las anteriores) y los límites para la velocidad de circulación del fluido en los conductos.

Criterios de Diseño.

Presión en cabecera de la red

Dato

Presión de cabecera: m

Grado de seguridad para los timbrajes : m

Metros de columna de agua con que se incrementa la presión estática

Opciones disponibles para PMIN

PMIN común en todos los nudos de consumo Pmin (m):

PMIN común en todos los nudos extremos

PMIN común en todos los nudos

PMIN en nudos concretos

Límites para la velocidad de circulación en las tuberías

Vmin = m/seg

Vmax = m/seg

FIGURA 7. 5 Criterios de Diseño.

Continuando con la exportación de la red a *DIOPRAM*, en la FIGURA 7. 6 se solicitan datos económicos: amortización de las tuberías, interés y, en caso de que haya una bomba en la cabecera, el rendimiento de bombeo, el precio del Kwh y el número de horas de funcionamiento de la bomba.

Datos Económicos

Amortización tuberías: años

Interés : %

Rendimiento de bombeo : %

Precio del Kwh : pts

Nº horas funcionamiento : horas

FIGURA 7. 6 Datos Económicos.

En la siguiente ventana (FIGURA 7. 7) se solicitan los materiales de la base de datos de *DIOPRAM* e intervalos de definición de los mismos (diámetros máximo y

mínimo, presiones de timbraje máximo y mínimo) a elegir para realizar el dimensionado óptimo.

FIGURA 7. 7 Materiales DIOPRAM.

7.3 COMUNICACIÓN CON EPANET.

EPANET es un programa de simulación hidráulica y de calidad del agua en régimen cuasiestacionario destinado a sistemas de abastecimiento desarrollado por *Enviroment Protection Agency, EPA, (Drinking Water Div.)*. Dicho programa por su fiabilidad y carácter de dominio público se ha convertido en el último lustro en una aplicación de referencia. Aún cuando las características de *EPANET* permiten eventualmente su aplicación en el contexto de las redes de riego, la marcada orientación de sus recursos operativos hacia los abastecimientos hace que aspectos relevantes en los regadíos, emisiones dependientes de la presión, discontinuidad de los patrones de consumo... no sean fácilmente implementables. Por otro lado, en la última versión disponible en 1998, 1.1e, *EPANET* carecía de “interface” gráfico para la entrada de datos, por lo que la carga de información se realiza mediante ficheros *ASCII*, lo que supone un importante inconveniente para su explotación. En cualquier caso, como paquete de cálculo contrastado resulta de interés para la validación y comprobación de los cálculos suministrados por *GESTAR* en la simulación directa de la red. Con objeto de facilitar el contraste de las capacidades de ambas aplicaciones durante la etapa de I+D de *GESTAR* se incorporó una utilidad auxiliar para exportar al formato de entrada de *EPANET* los elementos constructivos más habituales de las redes de distribución. Dicha utilidad se ha mantenido en las versiones finales ya que ha habido numerosas demandas en este sentido por parte de usuarios de *EPANET*, que han comprobado que encuentran en *GESTAR* una herramienta de dominio público que les permite generar fácilmente la topología, elementos y condiciones de contorno frecuentes de *EPANET* mediante el entorno gráfico amigable de *GESTAR*.

La exportación de datos de la red a *EPANET* se realiza a través de la opción *Fichero/ Exportar/ Fichero Epanet* mediante la creación de los ficheros “.map” y “.inp” correspondientes a la red presente en la ventana gráfica. Esta opción sólo es aplicable a redes que contengan únicamente elementos pasivos, no admitiéndose *bombas, válvulas reguladoras, elementos con cualquier tipo de pérdidas singulares ni elementos sin característica pasiva* y permitiéndose solamente identificadores numéricos para nodos y elementos (restricción de *EPANET*). En cambio, se aceptan *Nodos de Unión, Consumo Conocido y Presión Regulada*.

8. EJEMPLOS DE REDES

En este capítulo se recogen, en primer lugar, una serie de casos elementales que permitirán al usuario debutante familiarizarse con el manejo de las herramientas básicas de *GESTAR*, para posteriormente introducirse en la explotación de las innovaciones y herramientas avanzadas que se facilitan, como por ejemplo el diseño inverso o la modelización híbrida de hidrantes. Durante la instalación se cargan los siguientes ficheros correspondientes a redes representativas que, no por convencionales, son menos ilustrativas:

Demanda1.red (pág. 220): Red colectiva de distribución a la demanda estrictamente ramificada.

Demanda2.red (pág. 224): Variante de la red anterior, en la que se pierde la característica de red estrictamente ramificada debido a la inclusión de un depósito de cola.

Aspersor_ideal.red (pág. 225): Subunidad de riego con regulador de presión en cada aspersor (caudal emitido constante).

Aspersor_real.red (pág. 227): Lo mismo que la red anterior, pero simulando el comportamiento hidráulico de los aspersores sin regulador de presión individual (caso habitual).

Rotura.red (pág. 228): Variante de *Demanda2.red*, en la que se simula la aparición de una fuga y la existencia de un hidrante sin regulación, observándose los efectos de estos en la red.

Mallada.red (pág. 230): Red de distribución mallada con múltiples puntos de alimentación y grupos de bombeo.

Diseño_inverso.red (pág. 230): Ejemplo sencillo de la utilización del diseño inverso incluido en *GESTAR* para la regulación y/o modificación de redes.

Localiza_fuga.red (pág. 231): Puesta en práctica de estrategias para ayudar a encontrar la posible localización de una fuga en la red.

Combinada.red (pág. 234):

Ejemplo_real.red (pág. 236):

Mediante la exploración y reconfiguración de los mismos, el usuario podrá apreciar la funcionalidad, flexibilidad y robustez de *GESTAR* para simular todo tipo de condiciones en problemas de diseño y gestión hidráulica, mediante un empleo imaginativo de las herramientas que se ofrecen.

Los resultados numéricos a los que en éste capítulo se hace referencia podrán ser obtenidos ejecutando los ficheros de muestra que se suministran.

8.1.- DEMANDA1.RED.

El primer caso que se expone corresponde a la red mostrada en la FIGURA 8. 1. Representa un caso típico de red de distribución a la demanda con una configuración estrictamente ramificada, esto es, existe un único nodo de altura piezométrica conocida, correspondiente al punto de alimentación, y en todos los demás nodos de la red el consumo es conocido, bien por ser nodos de unión, consumo nulo, o por tratarse de hidrantes regulados, nodos de consumo conocido con demanda impuesta por el regulador de presión y los equipos de riego conectados al mismo.

Al asimilar los hidrantes a nodos de consumo conocido independiente de la presión, práctica habitual, se están implícitamente dando por supuestas dos condiciones que conviene explicitar y verificar en cada caso:

-Existe un regulador de presión y un limitador de caudal operando correctamente entre la toma de la red colectiva y el acoplamiento de los sistemas de riego a presión de la parcela.

-La presión en la toma de la red colectiva es suficiente para hacer funcionar los reguladores y suministrar la presión de consigna aguas abajo.

El regulador de presión operativo mantendrá aguas abajo del mismo una presión sensiblemente constante, independiente de la que llega de la red, que suministrada al conjunto de dispositivos de riego existentes en la/s parcela/s alimentada/s desde el hidrante (aspersores, cañones, goteros, ...), implicará el paso de un determinado caudal constante. Este caudal, por supuesto, se modificará en función de las distintas configuraciones de riego que se “cuelguen” del hidrante.

El caudal instantáneo suele coincidir con la dotación máxima del hidrante, controlada por el limitador de caudal, dado que, frecuentemente, las pérdidas de carga en los dispositivos de riego no son excesivas, y la presión suministrada aguas abajo del regulador suele ser elevada para hacer funcionar los equipos automáticos, por lo que el caudal instantáneo sería muy elevado cada vez que se abriera el hidrante en ausencia del citado limitador de caudal.

En cualquier caso, la demanda instantánea dependerá de los equipos conectados y podrá calibrarse para cada combinación de equipos en funcionamiento mediante el contador volumétrico de la toma, o medirse en tiempo real si se dispone de contadores de impulsos.

ATENCIÓN: Si la presión en la red es insuficiente para la operación del regulador de presión, en las anteriores versiones éste permanecía inactivo y completamente abierto, comportándose como un elemento pasivo adicional que conecta la red con la atmósfera a través del conjunto de conducciones y dispositivos de riego que amueblan la parcela. En tal caso, mantener la simulación del hidrante como

elemento de consumo conocido era INCORRECTO, debiendo entonces el hidrante ser cerrado (el regante no obtiene presión suficiente y cierra su toma) o reemplazado por un elemento emisor de características adecuadas (el regante decide regar a pesar de disponer presiones y caudales insuficientes, riego precario que quizá sea poco eficiente al no estar correctamente alimentados los sistemas). En la versión *GESTAR 0.3* esta modificación es realizada automáticamente por el propio programa, el hidrante es simulado mediante un emisor de característica $H = K_s Q^N$.

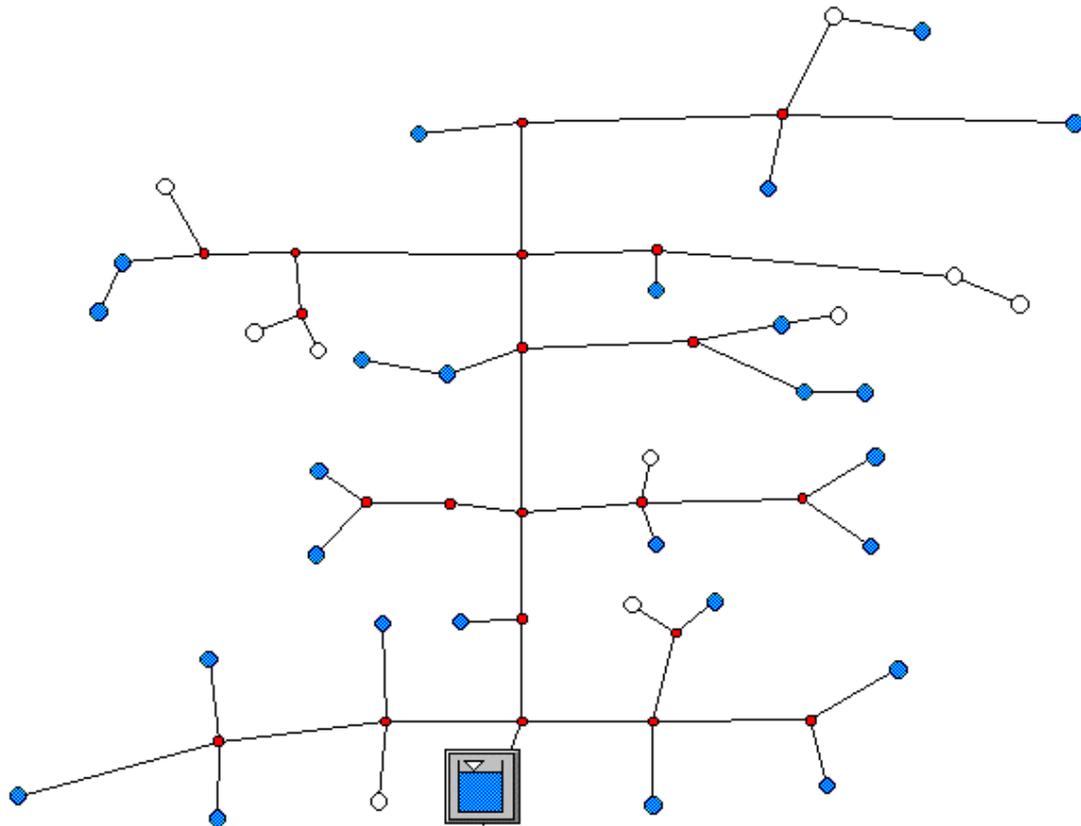


FIGURA 8. 1

En la situación reflejada en *Demandal.red* (FIGURA 8. 1) el estado de los hidrantes se ha configurado mediante la función *Demanda aleatoria* del menú *Opciones*, que genera, mediante sorteo, estados aleatorios para el porcentaje neto prefijado de hidrantes abiertos. Se ha elegido un estado con el 72% de hidrantes abiertos, con lo que ha resultado un total de 26 abiertos (círculo azul) y 10 cerrados (círculo blanco). Los resultados obtenidos una vez efectuado el cálculo con sorteo con probabilidades homogéneas se muestran de forma gráfica en la FIGURA 8. 2, representándose el caudal que circula por los elementos y el consumo en los nodos.

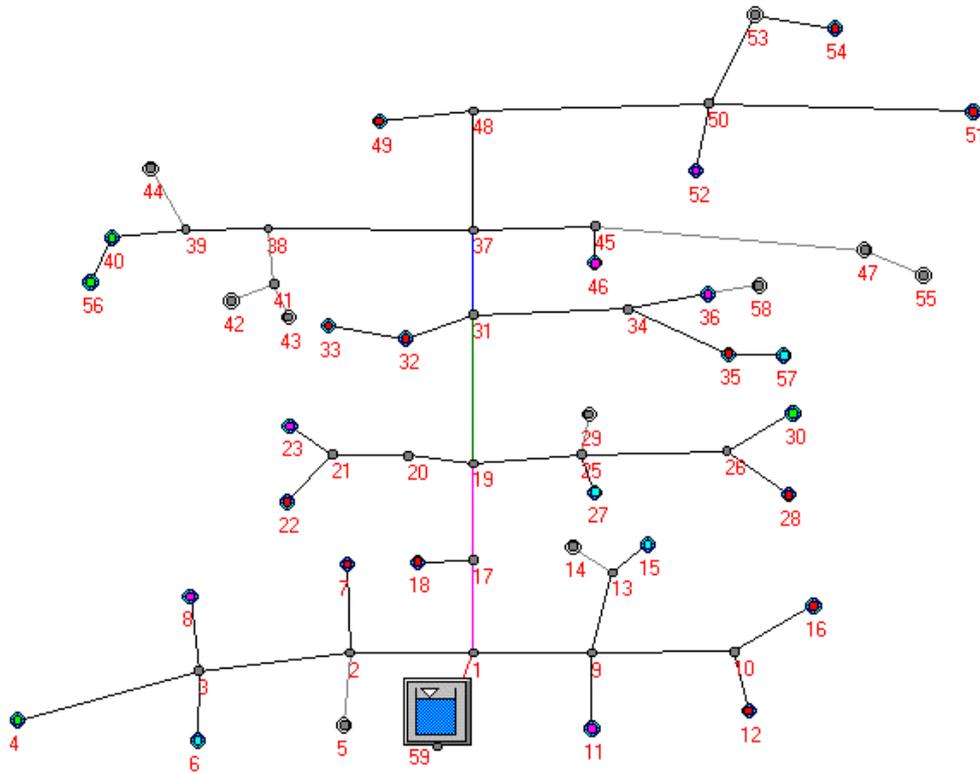


FIGURA 8. 2

Los hidrantes vienen representados mediante dos círculos concéntricos, siendo el color del externo azul o blanco, según se encuentre éste abierto o cerrado. El color del interno corresponde al parámetro seleccionado (en éste caso consumo), siendo gris en caso de que sea menor o igual que cero. Los colores recogidos en el cálculo corresponden a la escala recogida en la FIGURA 8. 3.



FIGURA 8. 3

Con el objeto de facilitar la comparación con redes posteriores se ofrece a continuación (TABLA 8. 1) el valor de las presiones en varios nodos de la red. (Ver numeración en FIGURA 8. 2). Se observará que si se cifra en 39 mca la presión mínima requerida para el correcto funcionamiento de los hidrantes, algunas tomas de la cola de la red manifestarán insuficiencias en esta configuración de simultaneidad, lo que impedirá probablemente el suministro de los caudales de consigna, en particular los 35 litros/s del hidrante 51.

NODOS	1	17	19	31	37	48	51	52	53
PRESIONES (mca)	42.15	40.99	40.74	40.02	40.39	41.32	35.87	39.46	38.04

TABLA 8. 1

8.2.- DEMANDA2.RED.

La aparición de más de un punto de altura piezométrica conocida en la red, que ya no permite un cálculo explícito de la distribución de caudales y presiones, sucede con mucha frecuencia en la práctica y puede obedecer a la existencia de puntos de alimentación diversos, o a la presencia de emisiones de caudal, no controladas por reguladores, que responden a la presión local aguas arriba del dispositivo del cual el nodo emisor es un nodo final. Ejemplos de lo primero lo constituyen redes abastecidas por distintas fuentes, sistemas con depósitos de regulación o de cola intermedios, redes interconectadas, y un caso muy habitual: sistemas de elevación donde el depósito de cabecera y el grupo de impulsión pueden alimentar simultáneamente a la red mediante una misma tubería o un “by-pass”. Ejemplos de lo segundo son hidrantes abiertos sin elementos de regulación activos, descargas directas al exterior - placas orificio, roturas, válvulas de alivio- y todo tipo de dispositivos de riego –aspersores, cañones, mangueras, pulverizadores, ...– que, si bien no aparecen generalmente conectados directamente a la red colectiva, sí constituyen elementos esenciales y abundantes en los riegos por aspersión y en jardinería.

La red aquí recogida (FIGURA 8. 4) es un ejemplo de red ramificada con dos puntos de alimentación y/o almacenamiento (depósitos, tanques, embalses, canales, hidrantes...) señalados con iconos de tipo depósito, donde se especifica la altura piezométrica del punto, suministrando además de la cota, la altura de presión. Es una variante de la red anterior *Demanda1.red*, con la misma distribución de hidrantes abiertos y cerrados, a la que se ha añadido un depósito de cola que se llenará alimentado por la cabecera en horas valle y aportará caudales de apoyo a los puntos más desfavorables de la red en condiciones de demanda punta. El depósito se conecta con la red mediante una conducción de 50m de longitud y 0,213 m de diámetro.

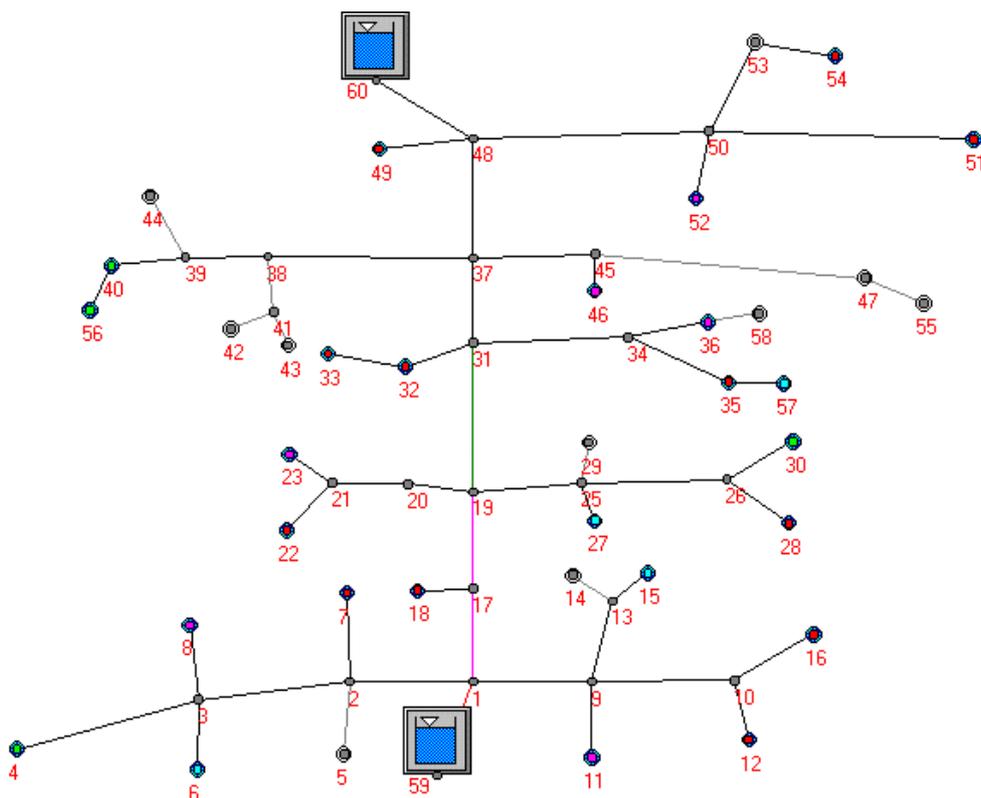


FIGURA 8. 4

El valor de las presiones en los nodos seleccionados de la red en el apartado anterior viene dado en la TABLA 8. 2.

NODOS	1	17	19	31	37	48	51	52	53
PRESIONES (mca)	42.76	41.95	41.84	41.39	42.14	43.50	38.05	41.64	40.21

TABLA 8. 2

Como se puede observar, comparando los resultados numéricos de *Demanda1.red* y *Demanda2.red*, se ha conseguido, con la inclusión del segundo depósito, la subida de presiones en la cola de la red.

8.3.- ASPERSOR_IDEAL.RED.

Las mismas herramientas empleadas en la simulación de redes de distribución colectivas pueden explotarse convenientemente para diseñar y analizar riegos presurizados dentro de las parcelas de los regantes.

En la red de la FIGURA 8. 5 se representan las conducciones primarias y secundarias que alimentan un conjunto de 20 aspersores idénticos, configurados en este caso como nodos de consumo conocido con demanda instantánea igual al caudal nominal deseado para cada aspersor, caudal en función del cuál se ha dimensionado la red de conducciones. El punto de alimentación se sitúa aguas abajo de un regulador de presión, que podría ser el propio hidrante de la red colectiva, cuya consigna es de 40 m.c.a., y que aparece configurado como un nodo de altura piezométrica conocida con altura de presión igual a 40 m.c.a.

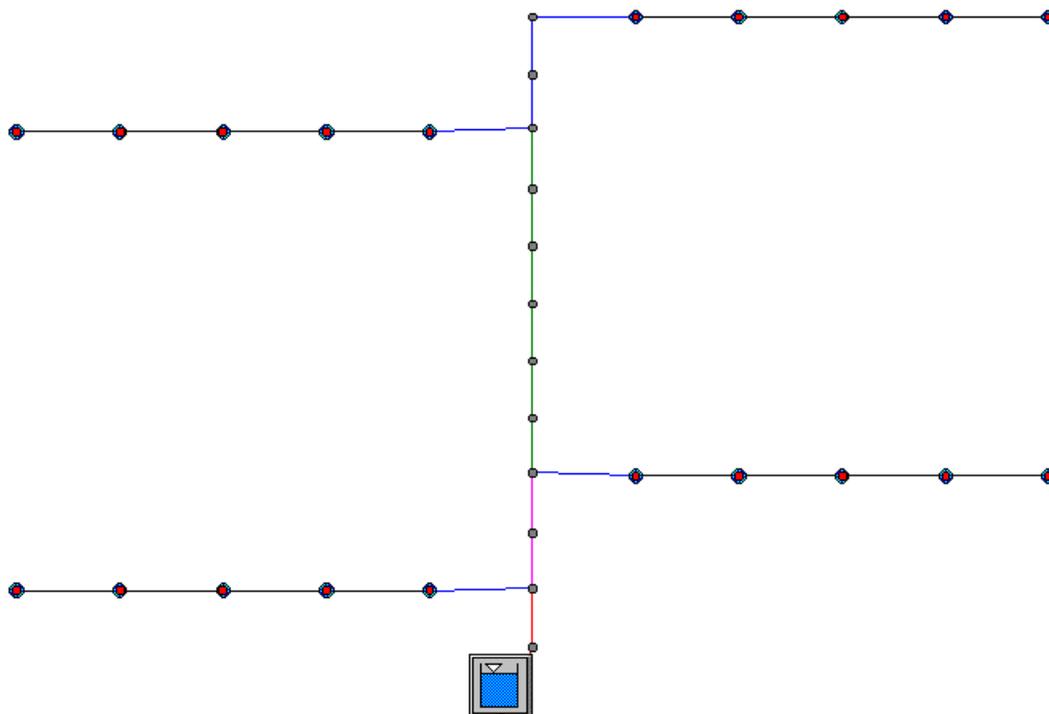


FIGURA 8. 5

La asimilación de los aspersores a nodos de consumo conocido es realista al disponer de un regulador de presión en su conducto de alimentación. Este tendría por objeto uniformizar las presiones de entrada a cada elemento de proyección, reduciéndolas hasta el valor nominal, para el que se obtendría asimismo el caudal nominal dado por la demanda instantánea. Aunque hoy por hoy, tales soluciones no son las más abundantes, resulta de interés analizar esta disposición a efectos comparativos. Los aspersores instalados, según la documentación técnica facilitada por el distribuidor, suministran un caudal nominal de 1.0 l/s (0.0010 m³/s) para la presión nominal de alimentación de 25 m.c.a.

Se comprueba, observando los resultados numéricos, que las presiones de alimentación de los aspersores, del orden de los 30 m.c.a., siendo distintas de las nominales y distintas entre sí, deberían inducir caudales diferentes en cada emisor, en ausencia de los citados reguladores individuales.

8.4.- ASPERSOR_REAL.RED.

Este caso constituye una variante del anterior, *Aspersor_ideal.red*. Ahora cada aspersor es tratado como un nodo emisor, esto es: un punto en contacto con la atmósfera (y por tanto de presión relativa nula y altura piezométrica conocida igual a la cota) más un conducto con pérdidas de carga singulares que une dicho punto con el nodo de la red que lo alimenta.

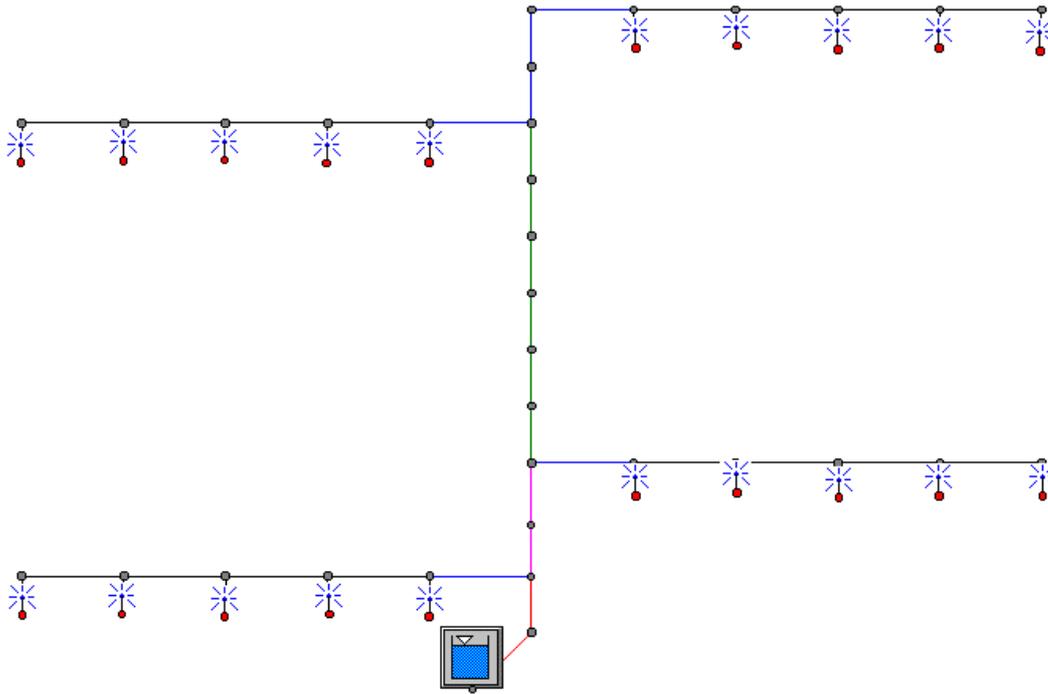


FIGURA 8. 6

Tal disposición reproduce de forma más realista y ajustada el funcionamiento de los dispositivos emisores. La ecuación de comportamiento que simula la respuesta hidráulica del aspersor $\Delta H = K_s Q^n$, establecida en función de la tabla de presiones y caudales de servicio, se ha aproximado por $\Delta H = 2.5 \cdot 10^7 Q^2$. Cada emisor se inserta en los ramales secundarios directamente, por lo que la conducción que une el nodo de inserción con el emisor, elemento inexistente en este caso, ha sido configurada con una longitud insignificante, 0.001 m., y un diámetro relativamente alto, 0.04 m., con objeto de que esta no introduzca pérdidas de carga apreciables.

Los resultados numéricos muestran unos caudales emitidos hasta un 20% superiores a los nominales del caso *Aspersor_ideal.red* dándose diferencias entre ellos del 10%. Asimismo se aprecia la significativa reducción de las presiones respecto a las encontradas en el caso anterior, fruto de los mayores caudales circulantes por cada tramo.

8.5.- ROTURA.RED.

La red recogida a continuación es una variante de la red *Demanda1.red*, ya que el depósito de cola añadido en *Demanda2.red* se encuentra cerrado mediante una válvula. Además se ha ubicado un punto de emisión no regulada, nodo 1000, que simula el funcionamiento de la toma situada en el nodo 30 en condiciones de ausencia o fallo de su regulador de presión, y en el que el comportamiento hidráulico del conjunto de equipos de dispositivos hidráulicos conectados a la misma se reproduce mediante una ecuación característica del tipo

$$\Delta H = K_s \cdot Q^n = 35000 \frac{s^2}{m^5} \cdot Q^2$$

donde K_s y n han sido determinados previamente en función de los equipos de riego de la parcela. También se ha simulado una fuga, situada en el nodo 31, en la que se supone que el fluido emergente transforma toda su energía de presión en energía cinética, y por tanto, si la sección efectiva de fuga es $S_0 \approx 0.79 \cdot 10^{-2}$ la fuga se simula mediante una expresión aproximada,

$$\Delta H = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \frac{1}{S_0^2} \cdot Q^2 = 827 \frac{s^2}{m^5} \cdot Q^2$$

que corresponde al tipo general con $n=2$.

La red calculada queda recogida en la FIGURA 8. 7.

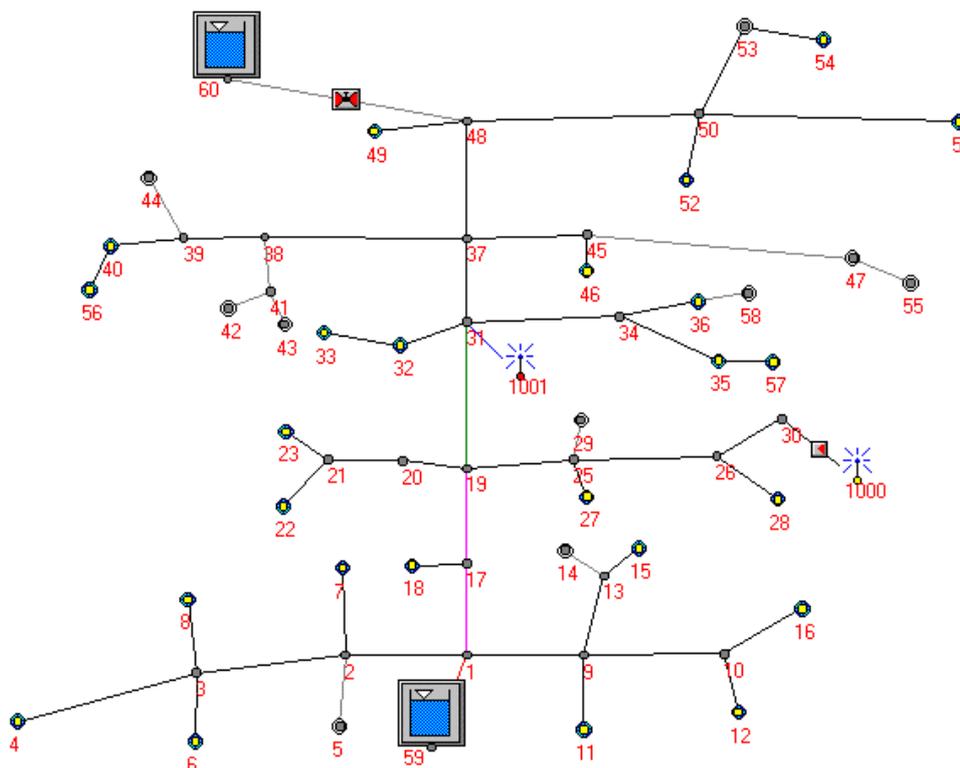


FIGURA 8. 7

El valor de las presiones en los nodos seleccionados de la red en apartados anteriores se recoge en la TABLA 8. 3.

NODOS	1	17	19	31	37	48	51	52	53
PRESIONES (mca)	39.82	37.20	36.38	34.58	34.95	35.89	30.43	34.03	32.60

TABLA 8. 3

De la inspección de los resultados, una vez calculada la red, se deduce:

-que el caudal que extrae la toma sin regulación (nodo 30) es de 31,6 l/s frente a los 14 l/s de su dotación.

-que una sección efectiva de fuga de la magnitud supuesta implicaría unas pérdidas de 203 l/s.

-que la fuga induce descensos de presión a lo largo de la red, observándose que en las proximidades de cabecera apenas se detecta el descenso de presión provocado por la fuga, inferior a 3 mca, mientras que en la cola el descenso es más notable, hasta cerca de 6 mca, valor que puede servir para alertar de su presencia.

8.6.- MALLADA.RED.

En el ejemplo de la FIGURA 8. 8 aparece una red de estructura mallada con diversos bombes directos y depósitos de almacenamiento, que muestra la capacidad de *GESTAR* para resolver configuraciones generales y complejas.

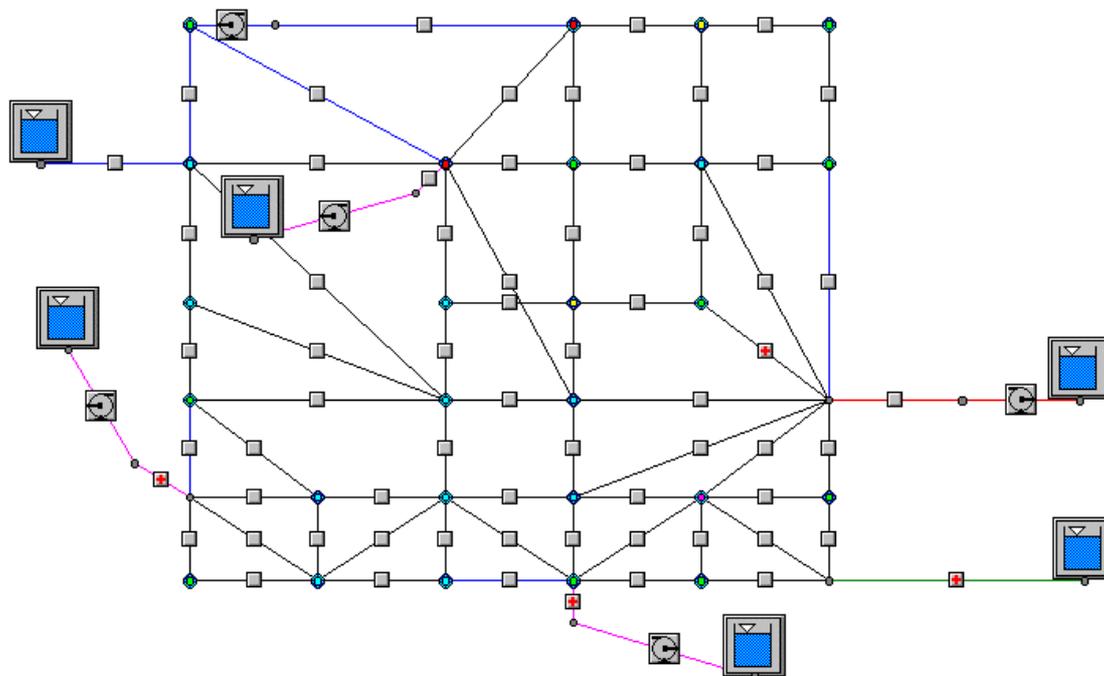


FIGURA 8. 8

Aunque este tipo de disposición particular es difícil que aparezca en sistemas de regadío, las redes de abastecimientos de agua, riegos en jardinería, distribuciones de climatización y otros sistemas de interés técnico, adoptan tales estructuras, que asimismo pueden simularse mediante *GESTAR*.

8.7.- DISEÑO_INVERSO.RED.

Otra de las potencialidades del programa *GESTAR* es su utilidad en la resolución de problemas de diseño inverso en redes. Un ejemplo demostrativo de ella sería el expuesto en la variación de la red *Demanda1.red*, *Diseño_inverso.red*, donde ahora se pretende aumentar la presión de toda la zona de cola mediante un depósito adicional (nodo 60), con cota 141 m, el cual se conectará con el nodo 48 a través de un dispositivo desconocido (elemento 59) cuyas características se van a determinar mediante las herramientas de diseño inverso. La condición de diseño del elemento desconocido 59 se cifra en incrementar la presión en el nodo más desfavorable de la zona, nodo 51, desde los 35.8 metros iniciales, hasta llegar a los 39 mca. La red calculada es la recogida en la FIGURA 8. 9, donde el nodo 51 se ha configurado a

través de un nodo de altura piezométrica y consumo conocidos: la altura piezométrica impuesta corresponde a la cota del nodo más la presión deseada y el consumo será el que le ha sido asignado al hidrante en un principio, 35 litros/s, mientras que el elemento 59 se ha configurado como elemento de longitud dada, 50 m, rugosidad 0.025mm, y diámetro desconocido.

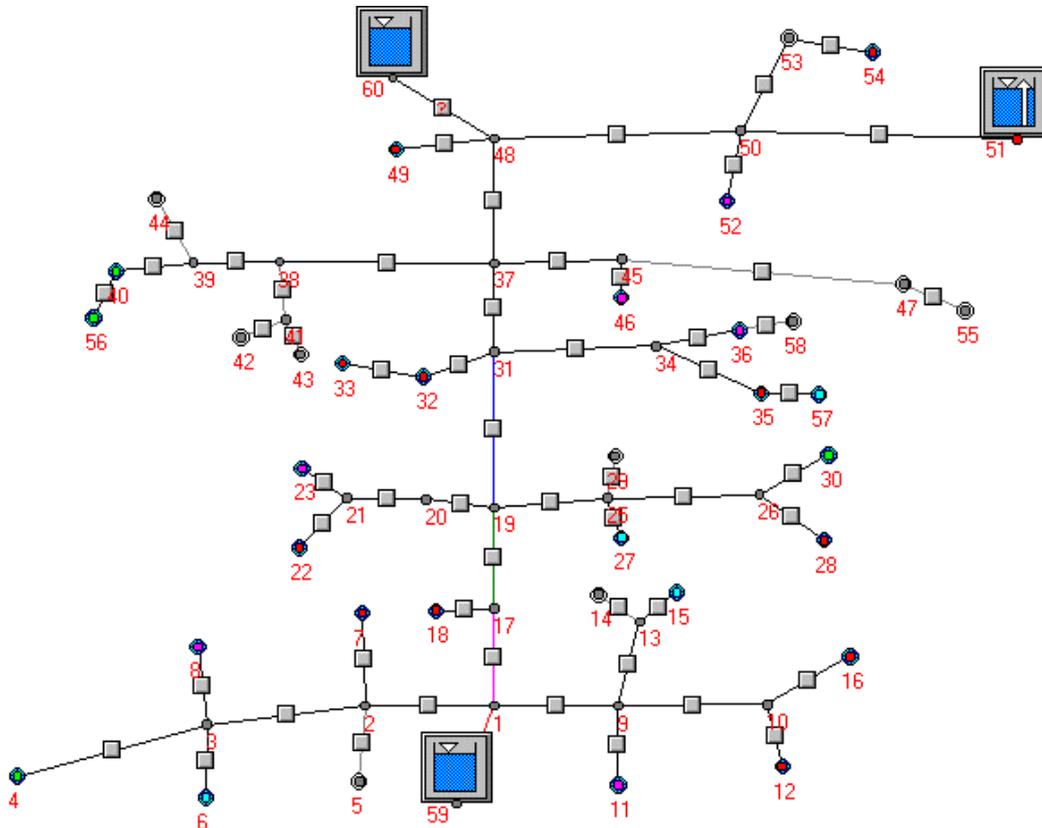


FIGURA 8.9

Como se observa, mediante un clic en el elemento desconocido, o bien a través de los resultados numéricos, el elemento necesario es un elemento pasivo de diámetro 0,441 m y por el que circula un caudal de 108 l.

8.8.- LOCALIZA_FUGA.RED.

Otro caso interesante de aplicación de los recursos de diseño inverso aparece en la definición de estrategias para ayudar a encontrar la posible localización de una fuga en la red. La existencia de una fuga, si es de magnitud suficiente, va a traducirse en una modificación del estado de caudales y presiones en la red, que deja una “firma” característica en un conjunto de puntos de influencia. Basándonos en el reconocimiento de esta firma gracias a medidas simultáneas de presión en puntos significativos, mediante las herramientas de diseño inverso se puede trazar el origen de la rotura que causa las perturbaciones, definiendo una serie de lugares hipotéticos donde la fuga se

sospecha que pueda tener lugar y verificando los resultados. De ellos podrá inferirse que alguno de estos candidatos es verosímil o debe descartarse.

La red en que se ilustra lo dicho es la ya conocida de *Rotura.red*. Para ello se han seleccionado tres puntos de la red, situados en el entorno de la zona donde se supone que ocurre la fuga, nodos 19, 31 y 37, a los que se conectan tres depósitos, con cota idéntica a la correspondiente a los nodos respectivos, que reproducirán la supuesta condición de salida de caudal al exterior. La conexión entre los nodos y los depósitos se realiza a través de elementos con características desconocidas, siendo el nodo final el de los depósitos.

Se precisan por lo tanto tres condiciones de contorno adicionales para fijar los tres grados de libertad introducidos, que en el ejemplo vienen dadas por las lecturas de presión en tres hidrantes de la red donde a su vez el caudal es conocido, asimismo ubicados en las proximidades de la zona donde se ubica la fuga (nodos 22, 35 y 55), quedando estos hidrantes configurados como nodos de doble condición, altura y consumo conocidos: las alturas son dato a través de la presión medida y los caudales son los medidos en los respectivos hidrantes, en este caso, supuestos iguales a los de consigna. En general los puntos de medida de presión más convenientes para estos propósitos son los nodos de unión, donde necesariamente el caudal extraído será nulo.

En el ejemplo, los datos de presión, supuestamente medidos, corresponden a los calculados para esos puntos en el caso *Rotura.red*, que precisamente simula el efecto, en presiones y caudales en toda la red, de una rotura en el nodo 31. La red que resulta queda recogida en el fichero *Localiza_fuga.red*, que una vez calculada se muestra en la FIGURA 8. 10.

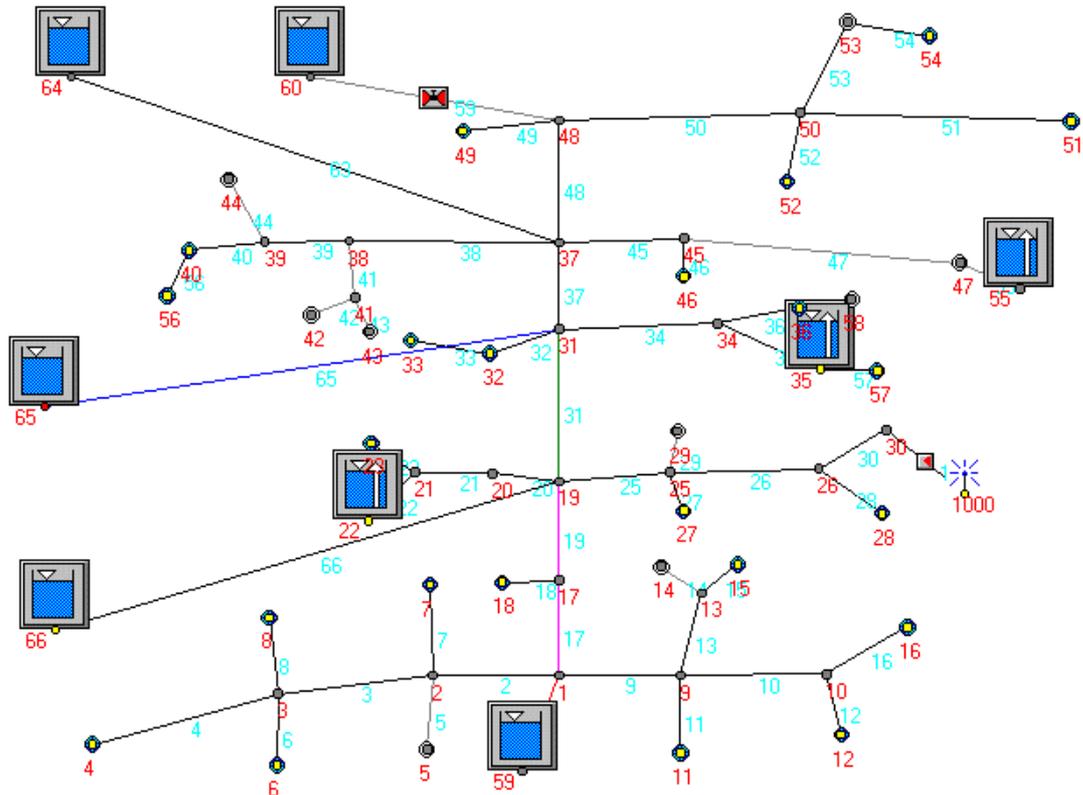


FIGURA 8. 10

Para localizar el punto más probable de la rotura se estudian las K_s calculadas para los elementos sin característica pasiva conocida, así como los caudales de salida en las líneas 63, 65 y 66. Los valores menores de K_s en estos elementos pasivos se asocian a los mayores caudales de fuga y nos indicarán los puntos susceptibles de estar expulsando caudal al exterior, lo que nos dará alguna pista sobre los lugares posibles de fuga. En el ejemplo, las características son $2,66E7$ para el elemento 66 y 841 para el 65. El elemento 63 es un elemento activo, que impulsaría agua desde el depósito al nodo 37, al revés de como está definido el elemento, de ahí el signo menos en el caudal y la pérdida de carga que aparece en los resultados. Los caudales para cada una de estas líneas son respectivamente $1,17$ l, 203 l y $0,002$ l. Con estos resultados se concluye que el candidato a la fuga es el nodo 31, que es en realidad donde se localizaba la fuga en el caso *Rotura.red*.

No obstante, se ha comprobado que esta metodología resulta sensible a pequeñas modificaciones de las condiciones de contorno, esto es a las medidas de presión impuestas, a la ubicación de los puntos de control de presión y a la localización de los puntos candidatos de fuga, por lo que los resultados no están garantizados. Como criterio general y previo a las conclusiones de una investigación más exhaustiva que se pretende acometer al respecto, se puede adelantar que en tanto en cuanto los puntos de medida y los puntos candidatos son más numerosos y se aproximan al lugar de fuga, más probabilidades hay de obtener un diagnóstico acertado, mientras que al dispersarse y alejarse unos y otros, la correlación directa se pierde.

8.9.- COMBINADA.RED.

En el fichero Combinada.red se presenta una red en la que se integran varios de los recursos de modelización y configuración de escenarios expuestos. No constituye un ejemplo exhaustivo de todas las posibilidades presentes en *GESTAR*, pero si ilustra cómo, conjugando recursos operativos e imaginación del usuario, puede reproducirse numerosas situaciones y extraer potentes resultados.

La red que se muestra (FIGURA 8. 11a) corresponde al diseño de una ampliación de una distribución a la demanda mediante la incorporación de un nuevo ramal (constituido por el conjunto de *Hidrantas Reguladores* que se muestran) que se une en el nodo 101 a la conducción principal. La conducción principal va desde el embalse hasta el nodo 102. Los hidrantes de este nuevo ramal corresponden a parcelas que actualmente riegan por gravedad y que desean transformarse a riego a presión aprovechando la sustitución por reparaciones de la conducción 0-101-102 que transcurre por las inmediaciones, destinada una zona regable con riegos a presión que ya existe desde hace años. Se desea diseñar ágilmente las conducciones del ramal y la ampliación de diámetro necesario en los tramos 0-101, aprovechando la sustitución de la tubería de cabecera, para acomodar las nuevas demandas sin alterar las condiciones de servicio de lo ya construido. Con objeto de ganar tiempo en el diseño, la red riego que se extiende aguas abajo del nodo 102 (constituida por varias decenas de hidrantes) se sintetiza configurándola como un nodo de consumo conocido con dotación igual al caudal de diseño del tramo 101-102 en la red de riego a la demanda que ya existe. Este nodo se ha definido como incondicionalmente abierto para que en todas las generaciones aleatorias de escenarios que se efectúen en el análisis del comportamiento del nuevo ramal contemplen el nodo 102 con el consumo de diseño de la red inicial. Tras definir las dotaciones en los nuevos hidrantes y la topología del ramal se exporta a *DIOPRAM* y se realiza el dimensionado de conductos. Con objeto de comprobar que la incorporación de este ramal no perturba el buen funcionamiento de la red ya existente, durante el dimensionado del ramal en el nodo 102 se impone un requisito de presión que equivale a la presión de diseño (30 m.c.a.) que existía en dicho nodo en la red inicial. Una vez concluido el dimensionado óptimo, la red se importó automáticamente a *GESTAR* para analizar el diseño. Con objeto de analizar el comportamiento del sistema de la manera mas realista posible todos los hidrantes se modelizaron como hidrantes reguladores de presión, y la configuración de escenarios aleatorios se acometió con probabilidades de apertura no-homogéneas. En consecuencia, en este ejemplo los datos referentes a la superficie de la parcela, caudal ficticio continuo y rendimiento de la red fueron introducidos, así como las presiones de consigna de los hidrantes y los coeficientes K_s y N de comportamiento de la parcela (las pérdidas de carga en el hidrante completamente abierto se desprecian).

Durante las simulaciones se vigilará que en los hidrantes haya presión superior a la de consigna (35 m.c.a.) y que en el nodo 102 la presión no descienda por debajo de los 30 m.c.a. requeridos como mínimo para la operación de la red aguas debajo de dicho nodo.

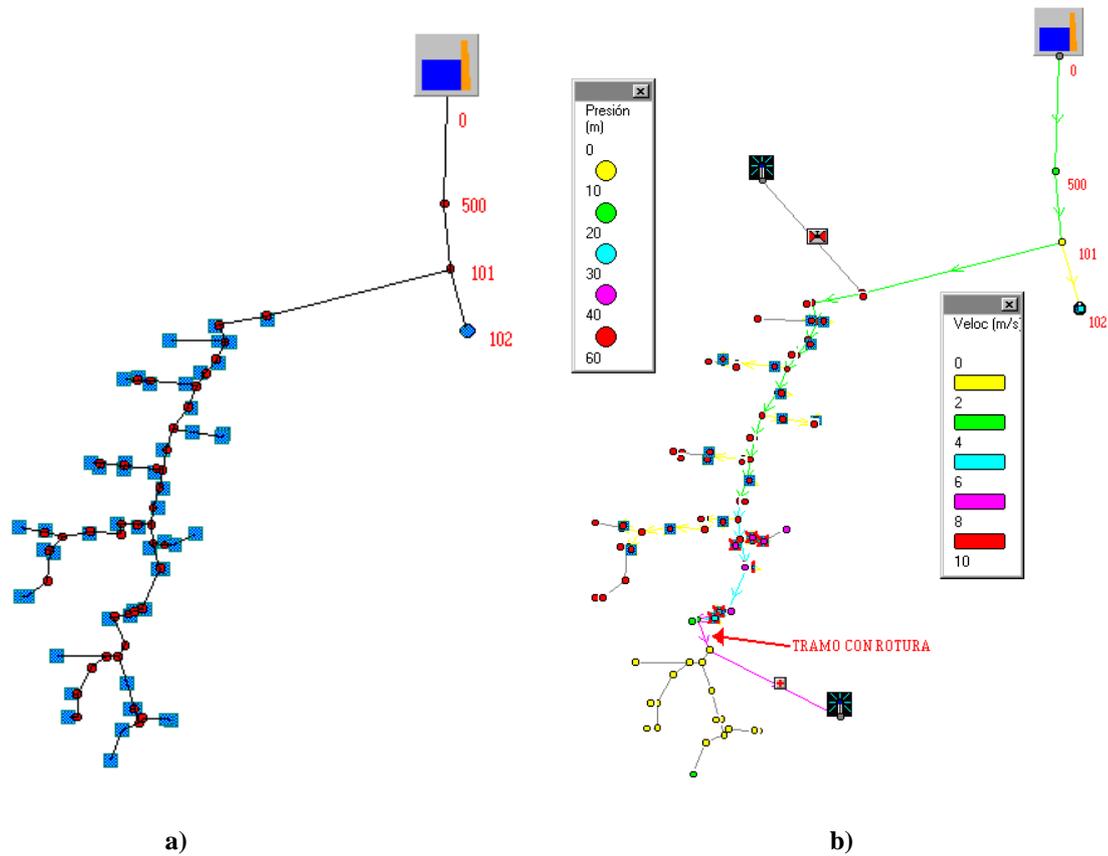


FIGURA 8. 11

En el caso representado en la FIGURA 8. 11b se estudia un cierto estado de la red, en una situación tal que se produce una rotura en el tramo señalado en la figura. Aguas abajo de este tramo los hidrantes se encuentran incondicionalmente cerrados ya que la ruptura de la conducción impide su alimentación. Los hidrantes alimentados con presiones inferiores a la de consigna aparecen marcados con una cruz, comprobándose la emisión de un caudal inferior al de la demanda supuesta. El usuario puede verificar fácilmente las diferencias entre esta configuración y la que se calcularía asimilando todos los hidrantes a nodos de consumo conocido (esto puede hacerse sin perder información abriendo cada hidrante y desactivando la casilla del bloque de regulación).

8.10.- EJEMPLO REAL.RED.

El ejemplo reúne un conjunto variado de tipos de elementos y nodos en un sistema de carácter real.

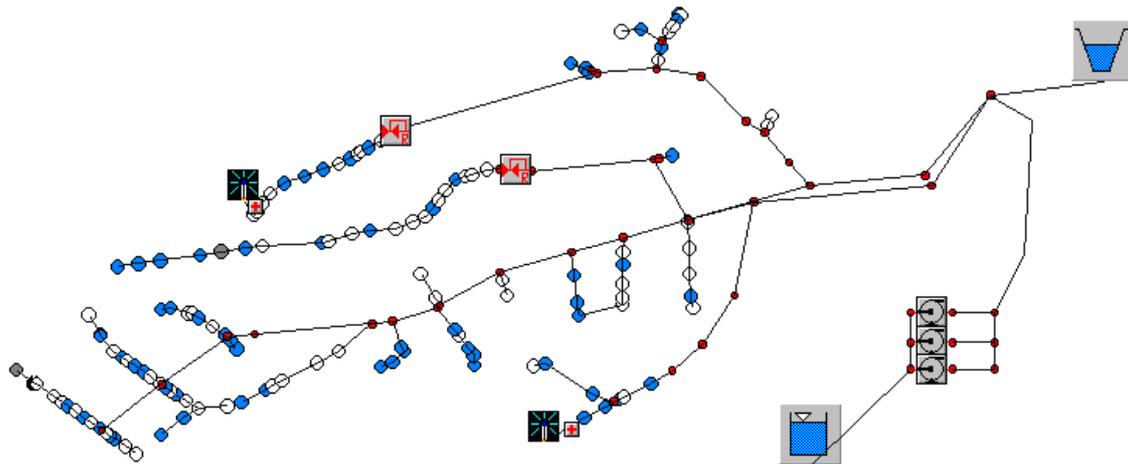


FIGURA 8. 12

Se reproduce el grupo de bombeo que alimenta desde la toma de un canal a nivel constante la balsa superior de nivel variable. Los grupos de bombeo no activos en un momento dado pueden establecerse cerrando los correspondientes tramos en impulsión.

La red presenta dos vertidos mediante placas de orificio a sendas acequias que alimentan zonas de riego a pie, vertidos que se reproducen con emisores en los que se han introducido coeficientes K_s y N correspondientes, ya que el dispositivo no figura en la base de datos de *Accesorios*.

Se pueden encontrar dos mallados locales: el uno debido a la conexión asimétrica de las dos conducciones paralelas que forman la cabecera, el otro debido a la interconexión de dos ramales próximos para resolver insuficiencias de presión de uno de ellos.

Diversas válvulas de regulación se han intercalado con diferentes valores de consigna, obsérvese que aguas abajo de las válvulas sostenedoras de presión y limitadoras de caudal la modelización de puntos de consumo como hidrantes reguladores asegura la correcta simulación de la operación de dichas válvulas.

En la carpeta de ejemplos se incluye un fichero *EjemploReal.evt* para reproducir una evolución temporal en la que durante las horas nocturnas los grupos de bombeo elevan agua a la balsa superior, mientras que en las diurnas se descarga la balsa. Puede

consultarse la evolución del nivel de dicha balsa y ajustar las horas de bombeo y el número de grupos en marcha para evitar que la balsa quede vacía o se llene en exceso.

ANEXO I. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y OPERATIVAS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN PARA RIEGO A PRESIÓN.

AI.1 DEFINICIONES.

GRAFO.

Se define como *grafo* de una red de distribución a la representación gráfica unifilar de la misma constituida por puntos significativos, que denominamos nodos, y elementos que conectan dichos nodos (FIGURA AI. 1).

TOPOLOGÍA RAMIFICADA.

Una red se dice que tiene una *topología ramificada* si en su grafo asociado la conexión entre dos nodos cualesquiera sólo puede realizarse mediante un único trayecto (FIGURA AI. 1a). En caso contrario la topología se definirá como *mallada* (FIGURA AI. 1b)

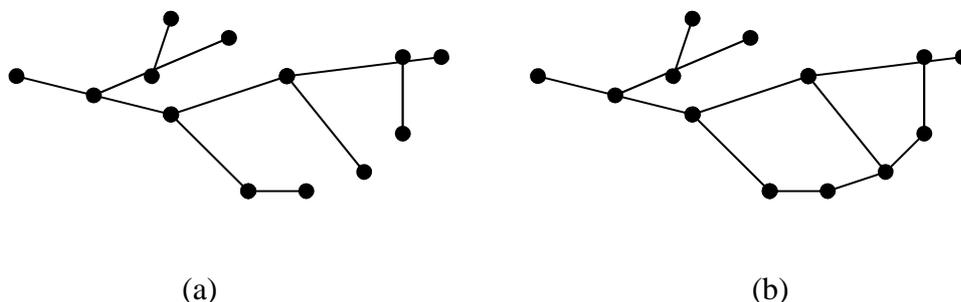


FIGURA AI. 1 Grafo ramificado (a) y grafo mallado (b).

TOPOLOGÍA CONSTRUCTIVA.

Se entenderá que la *topología constructiva* de una red es la combinación de:

- Su grafo.
- La descripción de cotas de todos los nodos.
- La descripción de los diámetros, rugosidades, longitudes y materiales de todas las conducciones.
- La especificación de dispositivos y piezas especiales instaladas (bombas, válvulas, reducciones, filtros, codos, etc.).

CONDICIONES DE CONTORNO.

Se entiende por *condiciones de contorno* de una red en un instante dado a la combinación existente en ese momento:

- de consumos en los nodos donde se conoce la demanda de fluido.
- de niveles energéticos en los puntos donde la presión, cota y energía cinética son conocidas.

CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL.

Se define como *configuración de los dispositivos de control* de una red en un instante dado al conjunto concreto de estados de activación, regulación y consigna de los diferentes elementos internos (grupos de bombeo, válvulas, reguladores, etc.) de la red en ese momento.

ESCENARIO.

Se define *escenario* de un sistema de distribución a la combinación de:

- la topología constructiva de la red.
- unas condiciones de contorno determinadas.
- una configuración de los dispositivos de control concretas.

ESCENARIO ESTRICTAMENTE RAMIFICADO.

Un escenario de una red de distribución de fluidos se denomina *estrictamente ramificado* (FIGURA AI. 2) si:

- posee una topología ramificada.

-Las condiciones de contorno son tales que:

- Existe exclusivamente un único punto de altura energética impuesta, que habitualmente corresponderá al punto de alimentación,
- El resto de nodos de la red se asimilan a puntos de consumo conocido, esto es, nodos de bifurcación, con consumo nulo, o puntos de suministro con demanda independiente de la presión.

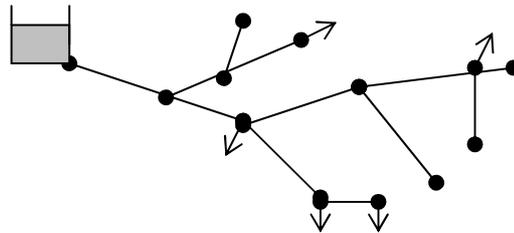


FIGURA AI. 2 Escenario estrictamente ramificado.

RED Estrictamente RAMIFICADA.

Se dice que una red es *estrictamente ramificada* si todos sus escenarios son estrictamente ramificados.

AI.2 EL PARADIGMA DE LAS REDES Estrictamente RAMIFICADAS.

Las redes estrictamente ramificadas poseen un par de propiedades importantes relativas a su dimensionado y al cómputo de las presiones:

AI.2.1 DIMENSIONADO DE REDES Estrictamente RAMIFICADAS.

Exclusivamente en las redes en que la topología y las condiciones de contorno se implementan configurando una red *estrictamente ramificada*, es posible determinar “a priori” los caudales de línea, desacoplados de las ecuaciones hidráulicas y de las características de la propia tubería, lo que posibilita, entre otras cosas, establecer metodologías directas para el dimensionado de los diámetros de los conductos, metodologías que pueden clasificarse^{9,10} en dos tipos: *dimensionado funcional*, esto es, determinación de una combinación de diámetros y materiales tales que satisfagan ciertas restricciones en cuanto a los valores de presión en nodos y velocidad en líneas, y

dimensionado óptimo económico, que persigue el mismo propósito, buscando además la combinación de los diámetros y materiales de la red que minimice los costes teóricos de las conducciones. Asimismo, cada una de las anteriores metodologías admite diversas aproximaciones que, a su vez, comportan ventajas y limitaciones de tipo conceptual o práctico.

AI.2.2 CÁLCULO DE PRESIONES EN CADA ESCENARIO.

Por otro lado, sólo en los escenarios estrictamente ramificados es posible calcular de forma explícita las presiones en todos los puntos del sistema para cualquier combinación de demandas, una vez que los diámetros interiores y materiales de las conducciones han sido determinados, sin más que descontar -o añadir- a la única altura piezométrica conocida las correspondientes pérdidas de carga, calculadas inmediatamente dado que los flujos de todas las conducciones son dados como la suma de los caudales demandados aguas abajo en el escenario de demanda concreto.

En cuanto una red presenta alguna malla o más de un punto de altura piezométrica conocida, aparecen trayectos alternativos al suministro o caudales emitidos en función de la presión local, por lo **que la distribución de caudales por toda, o parte de la red, ya no puede conocerse si no es planteando la resolución del sistema de ecuaciones completo que reproduce el comportamiento hidráulico del sistema de distribución**. Este sistema contiene numerosas ecuaciones no lineales cuya solución requiere inevitablemente el concurso de las técnicas empleadas en el cálculo hidráulico de redes generales (ver apartado 2.3, pág. 20), aún cuando la red mantenga una apariencia ramificada.

En función de las simplificaciones que reporta el modelo de una red estrictamente ramificada no es de extrañar que, en los sistemas dedicados al riego, donde la topología que se encuentra con más frecuencia es ramificada, habitualmente se asimilen las redes de distribución a presión al paradigma estrictamente ramificado, existiendo un punto de alimentación principal y unas demandas de caudal generalmente reguladas por los hidrantes en su operación normal.

Este hecho, unido a la carencia hasta el momento de herramientas de simulación suficientemente robustas, a la par que sencillas de utilizar, ha obviado el uso sistemático de programas de simulación hidráulica en el dominio de los regadíos, usadas sin embargo extensivamente en otros contextos (abastecimientos, climatización y calefacción, hidráulica de potencia y regulación, redes anti-incendios...). En contrapartida, el proyecto de redes de riego recurre a técnicas de dimensionado óptimo (especialmente fructíferos en redes ramificadas, en virtud del ya señalado conocimiento “a priori” de los caudales de diseño) hasta el punto de considerarse habitualmente completado el diseño una vez que se han establecido los diámetros económicos de las conducciones.

No obstante, puede afirmarse, en función de la casuística encontrada como resultado de múltiples experiencias en el análisis de los regadíos presurizados, **que si bien a efectos de dimensionado de conducciones el paradigma de red estrictamente ramificada puede considerarse esencialmente correcto**, en lo que respeta a la

simulación y reproducción del comportamiento real instantáneo y local de tales redes, **el funcionamiento del sistema de acuerdo al modelo de red estrictamente ramificada supone la excepción más que la regla. Esto obliga, si se desea mejorar la eficiencia del diseño y de la explotación de las redes, a la introducción de técnicas de predicción y análisis hidráulico de carácter general**, que resultan asimismo idóneas, y aún más precisas y fructíferas, si cabe, en las redes de riego.

Afortunadamente la divulgación y abaratamiento de la potencia de cálculo informático durante la pasada década y el desarrollo de novedosas técnicas numéricas, más potentes robustas y eficientes, ha permitido ir cubriendo el “gap” existente entre las aplicaciones informáticas para el cálculo hidráulico y las disponibles en otros ámbitos de la ingeniería, permitiendo acercar y hacer comprender a un número creciente de diferentes círculos profesionales las ventajas que la simulación de sistemas ofrece frente a las técnicas convencionales de diseño por tanteo. El uso de este tipo de herramientas se va extendiendo además dentro de los organismos encargados de la gestión de sistemas hidráulicos, ya que ofrece la posibilidad de evaluar y anticipar, de una forma no muy costosa, la respuesta de los mismos frente a una gran variedad de situaciones prácticas, bien sea con propósitos de planificación, prevención o regulación.

En consecuencia, resulta imprescindible en el proyecto y explotación de regadíos modernos disponer de técnicas de cálculo absolutamente generales, capaces de acomodar de forma realista cualquier topología constructiva, combinación de condiciones de contorno y configuración de dispositivos de control..., es decir: cualquier escenario.

En los siguientes apartados se procederá a revisar las características hidráulicas más significativas de las redes destinadas al riego a presión, tomando como elemento comparativo los sistemas de abastecimiento. Nuevamente aparecerá justificada la necesidad y la fiabilidad de las herramientas de análisis hidráulico en el contexto de las redes de riego para su mejor diseño y gestión.

AI.3 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LAS REDES DE RIEGO A PRESIÓN.

Los sistemas de distribución de agua a presión para riego y para abastecimiento comparten multitud de características a la vez que presentan particularidades notables que los diferencian. Los aspectos más relevantes de los sistemas de regadío, serían:

- Topología predominantemente ramificada.
- Baja densidad de la red y alta intensidad de la demanda.
- Estructura de la demanda discontinua y controlada.
- Presencia de condiciones de contorno con demandas dependientes e independientes de la presión.

Estas características servirán de hilo conductor para proceder a la revisión sistemática de los aspectos hidráulicos de dichas redes.

AI.3.1 TOPOLOGÍA.

En los abastecimientos de agua potable las grandes arterias de conducción se encuentran habitualmente interconectadas formando una estructura mallada que asegura que el agua pueda alcanzar cada manzana de viviendas siguiendo más de un trayecto desde los puntos de inyección a la red aún cuando ello supone un mayor coste del trazado de conducciones respecto al estrictamente mínimo necesario. Tal redundancia, amén de homogeneizar las presiones, intenta garantizar el suministro mediante circuitos alternativos cuando se produzca una interrupción en la circulación de alguna de las tuberías involucradas en el abastecimiento de un sector.

En las redes de riego a la demanda, las extensas superficies a cubrir, la dispersión de los puntos de consumo, los elevados costes de las conducciones de gran diámetro necesarias para acomodar los grandes volúmenes de agua servidos y la mayor tolerancia de los cultivos a las carencias de agua puntuales, hacen adoptar una morfología ramificada donde cada punto de suministro es alimentado a través de una única serie de conducciones, dado que se demuestra que, en general, es más económica que cualquier otra mallada que realice un servicio equivalente.

No obstante hay que tener muy presente que disposiciones malladas en redes de riego pueden ser recomendables en ciertos contextos, algunos de los cuales a continuación se enumeran:

Situaciones especiales.

Garantía de suministro.

Escalonamiento de inversiones.

Corrección de insuficiencia de presiones.

Aplicaciones en jardinería.

SITUACIONES ESPECIALES.

En situaciones particulares debidas a restricciones en el trazado (accidentes orográficos, terrenos rocosos o móviles, zonas excluidas...) o a la disponibilidad de diámetros, una interconexión redundante en algún punto, puede resultar más económica que la solución puramente ramificada.

GARANTÍA DE SUMINISTRO.

En otras ocasiones, los aspectos de garantía de suministro pueden ser relevantes, por ejemplo en los tramos en cabecera de la red, los de mayor diámetro y coste, cuyas

reparaciones o mantenimientos inutilizan todo el sector, puede no ser aconsejable la instalación de una sola conducción de gran diámetro dada su vulnerabilidad, siendo quizá más prudente instalar dos o más conducciones paralelas de menor diámetro que formarán en su conexión algún tipo de malla. En otras ocasiones, la proximidad de sectores hidráulicamente independientes puede hacer aconsejable una interconexión mallada para disminuir la vulnerabilidad de cada uno de ellos a los cortes en el suministro, especialmente en cultivos de alto valor añadido o con riego exigente.

ESCALONAMIENTO DE INVERSIONES.

El supuesto mayor coste de una disposición de tuberías paralelas en cabecera, frente a la única tubería de mayor diámetro, puede verse compensado por el ahorro en la financiación del inmovilizado que supone el instalar las conducciones paralelas escalonadamente, conforme el sector se va transformando y se demandan mayores caudales. La alternativa de instalación de una única tubería de gran diámetro, cuya capacidad portante puede estar infrautilizada durante muchos años, pudiera no ser la más ventajosa.

CORRECCIÓN DE INSUFICIENCIA DE PRESIONES.

Situaciones que pueden aconsejar el mallado local de la red se presentan cuando es preciso corregir problemas de insuficiencia de presión en ramales ya construidos, especialmente si estos se encuentran en servicio. Las circunstancias bajo las que un determinado hidrante presenta déficit de presión son más habituales de lo que cabría suponer (envejecimiento de instalaciones, cambio de cultivo o dotaciones, error de diseño...). En tales ocasiones, si un ramal próximo dispone de altura piezométrica suficiente, la interconexión de los ramales, formando así una malla, puede hacer aumentar la presión en la zona deficitaria de forma significativa, sin que la rama donante de caudales sufra un descenso excesivo de su respectiva presión. El diámetro y coste de la conducción necesaria para remediar esta situación puede ser sensiblemente inferior al coste de sustituir las conducciones ya instaladas en el ramal deficitario por una nueva o de mayor diámetro.

APLICACIONES EN JARDINERÍA.

Finalmente, en aplicaciones de jardinería se encuentran habitualmente conducciones de distribución formando anillos a lo largo de la periferia del terreno, de las cuales se derivan las conexiones de los dispositivos de riego. Esto es así por que el mallado del sistema tiende a igualar sistemáticamente las alturas piezométricas en todos los puntos, y por ende, las presiones, con total flexibilidad para los posteriores cambios y reacomodos de los puntos de inserción de las tuberías terciarias, muy frecuentes en tales aplicaciones. Dado que en jardinería se trabaja con pequeños diámetros y extensiones limitadas, el diferencial de coste respecto a la solución ramificada no es significativo, más aún si se compara con otras inversiones asociadas a las zonas residenciales en que se instalan.

Por otro lado, asignando un diámetro común a toda la malla, el proyectista se ahorra complicaciones de montaje y de diseño, al no tener que recurrir al tedioso cálculo de conducciones de diámetros decrecientes, preciso en redes ramificadas, para garantizar la homogeneidad de presiones, solución que, además de ser rígida y no admitir fácilmente cambios posteriores, requiere una colección de diámetros y piezas especiales cuyo acopio, almacenamiento y montaje supone, a la postre, costes superiores al ahorro conseguido en conducciones respecto al mallado con un diámetro intermedio constante.

AI.3.2 DENSIDAD DE LA RED E INTENSIDAD DE LOS CONSUMOS.

DENSIDAD DE LOS TRAZADOS.

En los sistemas de riego a la demanda encontramos redes de distribución sumamente dispersas en su trazado, con una baja concentración de tomas, en comparación con los sistemas de abastecimiento. Los sectores de riego dominados por una única balsa de captación o regulación pueden extenderse desde 200 ha. hasta varios miles de ha. Mientras que en un sistema de riego encontramos una toma o hidrante por cada 1-10 ha, y los hidrantes se encuentran separados distancias medias entre 300 m. y 600 m., en un abastecimiento apenas recorreremos los pocos metros que separan un edificio del siguiente para encontrar una nueva toma independiente. En una ciudad de tamaño medio (500.000 hab.) se tienden, aproximadamente, tantos metros de conducción como habitantes existen, formando una tupida maraña profusamente interconectada.

DENSIDAD DE LOS USUARIOS.

El número de usuarios que toman decisiones en un sistema de riego abarca desde pocas docenas a varios cientos de regantes, en los casos más extremos, siendo muy frecuentes los sectores en que hallamos entre 200 y 400 bocas de riego. En cualquier caso, se tiene una diferencia de tres órdenes de magnitud en el número de usuarios independientes en un tipo y otro de sistemas.

Dada la relativa simplicidad topológica de la red y dado el reducido número de tomas, en los regadíos presurizados es completamente factible proceder a la reproducción de la red de conducciones completa, incluyendo elementos singulares y tomas individuales, no siendo preciso esquematizar la topología de la red para proceder a su análisis.

INTENSIDAD DE LA DEMANDA.

A pesar de la dispersión de los usuarios en el terreno y el comparativamente bajo número de ellos que encontramos en un sector hidráulico de riego, sus demandas de

caudales son significativamente superiores a los consumos individuales urbanos. Si el consumo que realiza un ciudadano cuando abre un grifo durante un corto periodo de tiempo puede estimarse entorno a 0.1 l/s, un hidrante de riego abierto fácilmente reclamará alguna docena de l/s durante gran parte del día.

En los abastecimientos de agua potable, como en todo sistema de distribución donde existen miles y miles de consumidores con pautas de comportamiento aleatorias, resulta imposible e irrelevante pretender perseguir el comportamiento individual de la demanda ni sus efectos aislados, que se diluyen y amortiguan en el conjunto. En consecuencia, en las redes urbanas las decisiones de consumo de los usuarios individuales no afectan al sistema, sino de una forma acumulada y sólo cuantificable desde un punto de vista estadístico.

Sin embargo en los sistemas de riego, las altas tasas de caudales instantáneos demandados por cada regante, dentro de un colectivo de usuarios ya de por sí comparativamente reducido, dejan sentir en el resto de la red sus acciones individuales.

CONDICIONES MÁS DESFAVORABLES.

Finalmente, cabe señalar que mientras los criterios de diseño de las redes de riego van encaminados a garantizar con presiones suficientes las demandas punta de agua en los meses de máximas necesidades, en los abastecimientos generalmente la demanda punta viene impuesta por las condiciones de prevención de incendios, muy superiores habitualmente a los consumos máximos.

AI.3.3 ESTRUCTURA Y CONTROL DE LA DEMANDA.

Otra diferencia sustancial entre las redes de riego y las de abastecimiento radica en el tipo de comportamiento de la demanda y en el tipo de intervención que el organismo gestor puede practicar para su control y supervisión.

Los rasgos esenciales que se describen a continuación se agruparán bajo los epígrafes:

Variaciones estacionales y diurnas.

Patrones de demanda discontinuos.

Control de las tomas abiertas.

Control y registro de volúmenes consumidos.

Demandas instantáneas constantes y reguladas.

VARIACIONES ESTACIONALES Y DIURNAS.

En cuanto a la estructura de la demanda, encontramos en los regadíos grandes variaciones estacionales, y una menor variación diurna, en relación a los abastecimientos. Mientras que los consumos domésticos, industriales, sanitarios... de los núcleos de población poseen una base sensiblemente constante a lo largo del año, afectados en algunos meses por ligeros incrementos de la demanda, en los sistemas de riego las demandas se concentran en ciertos periodos, existiendo tiempos muertos, durante las temporadas en que no es necesario aplicar agua, en que la red se encuentra inactiva completamente. Lo contrario sucede en las variaciones a lo largo del día: las demandas urbanas se reducen durante las horas nocturnas, reduciéndose hasta el 25% de los picos de consumo diurno, mientras que los caudales demandados a lo largo de las 24 h. por los sistemas de riego deberán poseer mayor uniformidad, especialmente en las redes automatizadas y en las temporadas punta cuando es preciso explotar todas las horas posibles.

PATRONES DE DEMANDA DISCONTINUOS.

Por otra parte, las variaciones del caudal que circula por las redes de riego provienen esencialmente de la variación del número de tomas abiertas simultáneamente, ya que el caudal extraído en cada uno de los hidrantes es prácticamente uniforme una vez que el hidrante está en servicio. En las redes de riego el patrón de la demanda de cada nodo es, por tanto, marcadamente discontinuo: si el hidrante se encuentra abierto reclamará toda la dotación de forma constante mientras continúe abierto, cuando termine la aplicación de la dosis de agua, el hidrante permanecerá cerrado, con caudal estrictamente nulo, durante un período más o menos dilatado. De esta manera, frecuentemente se dan situaciones en las que no existe ningún caudal circulante por gran parte de los ramales, e incluso en toda la red (salvo fugas), eventualidad que es impensable en un abastecimiento.

En los sistemas de abastecimiento la variación de demanda sucede tanto por el aumento del número de usuarios como por la mayor intensidad del caudal demandado según el tipo de uso. Esta modulación se deja sentir en las tomas y los nodos del sistema de forma gradual, dado que comporta la integración de muchas demandas individuales de pequeña magnitud.

CONTROL DE LAS TOMAS ABIERTAS.

A diferencia de las redes de abastecimiento, que contienen numerosas tomas, en las redes de riego es factible disponer cierta supervisión de los caudales suministrados en tiempo real, existiendo la posibilidad de instaurar un notable control, tanto de las tomas en uso como de los caudales suministrados instantáneamente.

Gracias a la difusión actual de las telecomunicaciones, el estado de consumo de las tomas puede ser conocido en cada momento en virtud de los protocolos de notificación de riegos transmitidos a los responsables de la explotación o por medio de procedimientos automáticos, basados en sensores de caudal instalados en los hidrantes. Una sincronización del uso mayor de la prevista en el diseño, el cambio de las condiciones socioeconómicas o una manipulación inadecuada de los hidrantes

provocará una sobre-explotación de la red que se traducirá en malfunciones o en ineficiencia en la aplicación de los insumos de agua y energía.

CONTROL Y REGISTRO DE VOLÚMENES CONSUMIDOS.

La estricta contabilización del agua consumida en los sistemas de riego a presión es prácticamente universal, dado que su facturación es un objetivo esencial en los modernos regadíos. En los sistemas de abastecimiento es todavía muy frecuente encontrar tomas de particulares, comunidades, centros públicos, servicios, etc., donde no existe contador alguno, por lo que la determinación de consumos con alguna precisión resulta imposible.

DEMANDAS INSTANTÁNEAS CONSTANTES Y REGULADAS.

Otro factor favorable a la gestión hidráulica de las redes a presión radica en la constancia de los caudales demandados por los hidrantes, una vez que éstos se encuentran abiertos, y la posibilidad de integrar en el modelo de la red el comportamiento de los dispositivos hidráulicos de los usuarios en casos extremos. Esto constituye una diferencia esencial respecto a los abastecimientos, puesto que en estos últimos, aunque la demanda básica de caudales es relativamente constante (dada la acción reguladora de los usuarios en los grifos contrarrestando las variaciones de presión en la red) ciertamente los caudales extraídos de la red, en un momento dado, no pueden ser conocidos con precisión, ni mucho menos el análisis matemático del sistema incorporar el comportamiento hidráulico de las instalaciones interiores de los usuarios.

Cuando en los regadíos los consumos efectuados en los hidrantes abiertos se asimilan a nodos donde la demanda es conocida e independiente de la presión -amén de constante durante el periodo de apertura- se está efectuando una aproximación esencialmente correcta, siempre y cuando existan dispositivos de control interpuestos entre la red de distribución común y la parcela y estos se encuentren operando correctamente. Estos dispositivos básicos consisten en un reductor de presión y un limitador de caudal.

Incluso cuando estos dispositivos no son alimentados con presiones suficientes es posible predecir los consumos instantáneos (ver Anexo II, pág. 255).

AI.3.4 TIPO DE CONDICIONES DE CONTORNO.

En el caso de los sistemas hidráulicos, los puntos donde la altura energética total es conocida pueden asimilarse, a todos los efectos, a los puntos donde la altura piezométrica es conocida (presión y cota dadas) en la medida en que la energía cinética sea despreciable. Esta condición la satisfacen, en primer lugar, los sistemas de alimentación de la red (embalses, balsas, depósitos), dado que en los puntos de referencia presión y cota son impuestas, mientras que la energía cinética resulta insignificante.

No obstante, los puntos de descarga de caudal a la atmósfera (emisión a través de válvulas abiertas sin reguladores interpuestos, hidrantes con regulador inoperante, puntos de rotura, aspersores, goteros, cinta de exudación,...) representan también nodos donde la altura piezométrica es conocida, dado que la presión en el punto de descarga es precisamente la atmosférica y la cota corresponde a la del punto de emisión del caudal. En estos casos, aunque la energía cinética en la sección de emisión, S_e , pueda ser importante en alguno de los anteriores tipos de emisión, **en la medida en que la pérdida de energía cinética se considere una pérdida energética más, englobada en las disipaciones del elemento emisor, todos los puntos de emisión pueden asimilarse a puntos de energía total igual a la altura piezométrica** (ver Anexo III, pág. 265), de manera que la ecuación que modeliza estos dispositivos en el caso general será:

$$\Delta H = \frac{1}{2g} \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum k \right) \frac{Q^2}{S^2} + K_s Q^N \quad (\text{AI.1})$$

Donde:

L := longitud de la conducción asociada al emisor

D := diámetro hidráulico de la conducción

S = sección de la conducción

λ := factor de fricción de la conducción

k := coeficientes adimensionales de pérdidas singulares

K_s = coeficiente dimensional característico del emisor

N = exponente característico el emisor

En los emisores de riego, K_s y N en (AI.1) se determinan experimentalmente mediante ensayos de la respuesta presión/caudal del emisor, que se ajustan a una curva del tipo $\Delta H = K_s Q^N$. Si la emisión está caracterizada por otro tipo de dispositivos, con coeficientes dimensionales de pérdidas K' conocidos, y se realiza en una sección de área S_E (Anexo III) entonces:

$$K_s = K' Q^2 + \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{S_e^2} - \frac{1}{S^2} \right) Q^2 ; \quad N = 2 \quad (\text{AI.2})$$

En los sistemas de distribución, los nodos asimilados a puntos de consumo suelen tomarse como nodos donde la demanda está determinada y es independiente de la presión, condición que, como ya se ha estudiado, se verificará tanto en los sistemas de abastecimiento como en las redes de distribución para riego, siempre y cuando la demanda se encuentre regulada por válvulas de apertura variable interpuestas entre la red y el consumidor, reguladas manual o automáticamente, que contrarresten las eventuales variaciones de presión de la red mediante cambios de su grado de apertura.

Es habitual en los abastecimientos y en los sistemas de riego la existencia de un depósito principal de alimentación de cada sector, que se toma como punto de altura

piezométrica conocida. No obstante, en la operación de los sistemas de riego es frecuente encontrar más de un punto de altura piezométrica de la red. Algunas de las situaciones en que esto sucede se describen a continuación:

Puntos de alimentación múltiple.

Bombes a balsas con tuberías de impulsión de doble sentido.

Emisores de riego.

Descargas no reguladas.

Fugas localizadas y roturas.

PUNTOS DE ALIMENTACIÓN MÚLTIPLE.

Cuando una red dispone de dos fuentes de abastecimiento distintas, depósitos intermedios de acumulación, depósitos de cola... cada uno de los depósitos o balsas se convierte en un punto de altura piezométrica conocida.

BOMBEO A BALSAS CON TUBERÍAS DE IMPULSIÓN DE DOBLE SENTIDO.

Si bien las condiciones con múltiples depósitos se presentan excepcionalmente en sistemas de riego, son sin embargo muy abundantes las situaciones en que, para dar presión a la red es preciso realizar un bombeo, alimentando la zona, si la orografía lo permite, no directamente desde los grupos de bombeo sino mediante una balsa de regulación/acumulación elevada en la que se descarga el agua bombeada en horas valle desde la balsa inferior (FIGURA AI. 3a). Habitualmente la conducción a través de la que se efectúa la impulsión coincide en parte del recorrido con las conducciones de cabecera de la red (FIGURA AI. 3b).

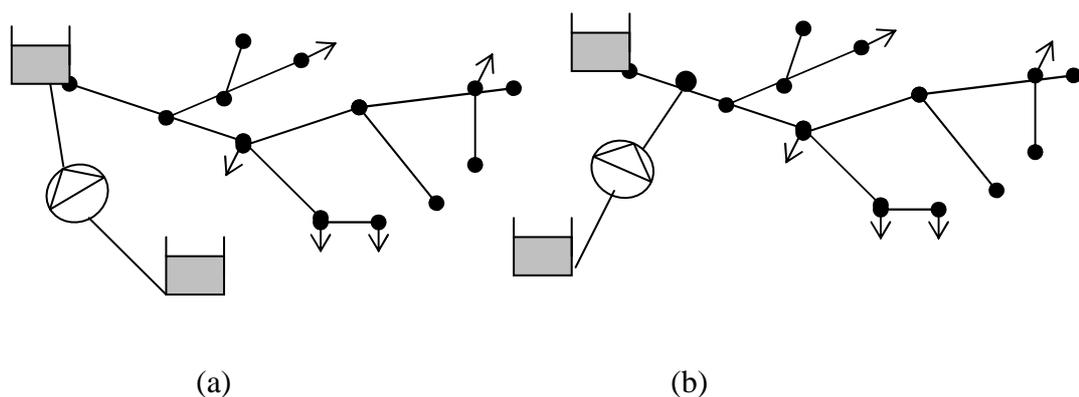


FIGURA AI. 3 Bombeo con depósito de regulación intermedio.

Aunque en la fase de dimensionado se suponga que toda la red se alimenta desde la balsa de cabecera (FIGURA AI. 4a), según las condiciones hidráulicas impuestas por los escenarios que se den en la práctica, pueden encontrarse cuatro tipos de

combinaciones de flujo (FIGURA AI. 4). Mientras que los casos a) y b) de la FIGURA AI. 4 todavía responden al paradigma de escenario estrictamente ramificado, los otros dos casos c) y d) suponen la existencia de dos puntos de altura piezométrica conocida.

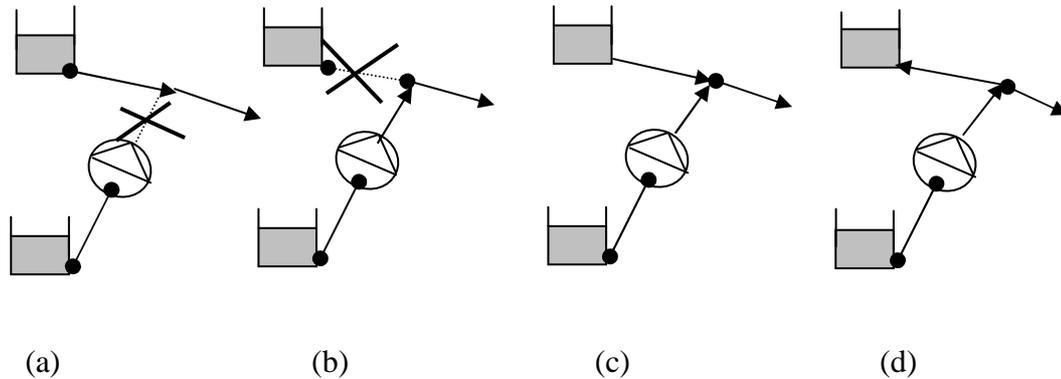


FIGURA AI. 4 Elevaciones con tuberías de doble sentido.

EMISORES RIEGO.

Si bien las redes de distribución a la demanda no suelen estar directamente conectadas a dispositivos de aplicación de agua a presión (cañones aspersores, redes de aspersión, líneas de goteros o microaspersores, rociadores, cintas de exudación...), las redes de distribución en el interior de la parcela presentan con profusión dispositivos emisores, por lo que cabe adentrarse en dicho ámbito con objeto de completar los aspectos de diseño en parcela.

Las aproximaciones convencionales^{5,6} establecen modelos para los ramales en que se insertan los dispositivos de emisión mediante ecuaciones de comportamiento de las pérdidas en el ramal deducidas bajo la hipótesis, aproximada, de suponer un aporte de caudal continuo por emisor o por unidad de longitud. Esta descripción resulta inexacta en la medida que en los emisores la forma constructiva está fijada de antemano, siendo entonces el caudal aportado función de la presión local y de la curva de respuesta presión/caudal característica de cada tipo de emisor, presión a su vez fuertemente dependiente de las emisiones anteriores y, sobre todo, de las variaciones de cota, que pueden ser muy significativas en sistemas de riego a presión.

La irregularidad y variación de dicha presión conduce a emisiones de caudal inhomogéneas, que es preciso conocer y acotar con objeto de evitar pérdidas de uniformidad inadmisibles. Para ello en las formulaciones tradicionales se revisa “a posteriori” la homogeneidad de presiones, estableciendo el umbral de inhomogeneidad que puede presentarse entre los puntos más desfavorables, como una tolerancia máxima función de las características hidráulicas del emisor (criterio de *Christiansen*). Tales aproximaciones gozan de gran aceptación en la medida que facilitan enormemente los cálculos manuales. Sus inconvenientes estriban en:

- ◆ Incierta detección intuitiva de los puntos más desfavorables, especialmente en condiciones de planimetría y altimetría muy irregular, situación relativamente frecuente en estas instalaciones.
- ◆ Necesidad de recurrir a hipótesis que no siempre se satisfacen con suficiente aproximación: identidad de emisores, distribución regular de los mismos o de grupos de ellos, parcelas trapezoidales, pendientes uniformes en cada ramal...
- ◆ Realización de sucesivos tanteos si los resultados finales contradicen las hipótesis de partida.

El empleo de métodos computacionales en este contexto permite realizar aproximaciones más detalladas, que no serían sin embargo viables para un cálculo manual, posibilitando superar tales limitaciones. Para ello es preciso configurar las condiciones de contorno en los emisores de forma adecuada y no tomarlos meramente como puntos de suministro de caudal conocido e independiente de la presión.

El parámetro invariable que puede conocerse “a priori” en todo dispositivo de emisión de caudal, y que se constituye en condición de contorno correcta para el análisis hidráulico, es la altura piezométrica en el punto de descarga, que a su vez se puede identificar a la cota, puesto que la altura de presión se anula en el punto de emisión cuando se toman presiones referenciadas a la presión atmosférica. El caudal realmente extraído en cada emisor dependerá de la presión que localmente lo alimente y de su curva de respuesta a la presión $\Delta H = K_s Q^N$, que es preciso especificar (Anexo III pg.265).

Las curvas de respuesta del caudal emitido respecto a la altura de presión de alimentación son caracterizadas por los fabricantes y pueden ser implementadas en el paquete de simulación *GESTAR*.

DESCARGAS NO REGULADAS.

Bajo este epígrafe deben catalogarse todos los vertidos de caudal al exterior que se realicen sin elementos de control automático para la regulación de la presión y/o el caudal. Así por ejemplo, las descargas a abrevaderos, balsas aisladas, a canales y acequias, a parcelas regadas por gravedad... se efectúan en la práctica mediante una conducción que posee una válvula de seccionamiento en su extremo, operada manualmente en la mayor parte de los casos, que se abre, completa o parcialmente, cuando se necesita el suministro. El caudal que se extrae, para un grado de apertura dado en la válvula, fluctuará en función de la presión reinante en la red (que su vez depende del caudal extraído). La condición de contorno que reproduce correctamente el

comportamiento hidráulico de estos puntos de emisión no es, nuevamente, el “caudal que se desea extraer”, puesto que no puede ser especificado sin ajustar la apertura de la válvula de descarga, sino el valor de la altura piezométrica en el punto de descarga.

En la ecuación general de comportamiento del emisor (AI.1) K_s se evaluará según la expresión (AI.2) (ver Anexo III, pág. 265).

$$K_s = K'Q^2 + \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{S_e^2} - \frac{1}{S^2} \right) Q^2 ; \quad N = 2$$

siendo K' el coeficiente dimensional de pérdidas de carga correspondiente al elemento singular a través del que se produzca la descarga, dado por su geometría y grado de apertura. La necesidad de retener las pérdidas lineales en (AI.1) y las energías cinéticas en (AI.2) se examinará en función de las condiciones concretas de la descarga.

FUGAS LOCALIZADAS Y ROTURAS.

Una fuga local puede interpretarse como un vertido al exterior a través de un conducto ficticio de un diámetro, D , que puede hacerse equivalente al diámetro hidráulico de la fisura y con una longitud, L , igual al espesor de la pared del conducto, e . No obstante, esta primera contribución en la expresión (AI.1) puede despreciarse, salvo para un D muy pequeño (fisuras). Si además se desprecia en (AI.2) la energía cinética en el conducto y las pérdidas de energía localizadas que suceden el proceso (desviación de la corriente que fuga, resistencia hidráulica realizada por el terreno circundante) la altura piezométrica en el conducto se transformará íntegramente en energía cinética en la sección perforada o fisurada (criterio conservador que sobrevalorará el caudal fugado) por lo que la relación presión/caudal (AI.1) característica de la fuga se reducirá a la contribución de la energía cinética en la sección de escape, S_E :

$$\Delta H = 1/(2g S_E^2) Q^2 ; \quad K_s = 1/(2g S_E^2) \quad , \quad N = 2 \quad \text{(AI.3)}$$

En el caso de pretender representar el efecto de una rotura de mayor entidad, se seguiría el mismo proceso, tomando como caso límite de sección de fuga, S_E , en (AI.3) la sección completa transversal del conducto completamente roto, pero tomando la precaución de anular las demandas aguas abajo del punto de rotura completa, dado que ya no existirá continuidad en la conducción que permita alimentarlos.

ANEXO II. MODELIZACIÓN DE LOS HIDRANTES

Se revisa en este anexo el comportamiento hidráulico de los hidrantes y la modelización de los mismos en su acoplamiento a la red y a la parcela con objeto de proceder a su correcta simulación en *GESTAR*.

AII.1 OPERACIÓN DEL REGULADOR DE PRESIÓN.

Reducir la presión de alimentación a los equipos de la parcela para protegerlos de presiones excesivas si éstas exceden en la red los valores recomendables.

Suministrar los niveles de presión adecuados a las especificaciones de las instalaciones de la parcela.

Mantener la presión constante en la alimentación de los equipos de la parcela, con independencia de las variaciones de presión existentes en la red.

Para realizar esta actuación el regulador/reductor de presión vigilará la presión aguas abajo del hidrante (ver FIGURA AII. 1). Si detecta un aumento de presión, provocado por cualquier causa, (p.e. un aumento de presión en la red colectiva que se transmite a través del hidrante abierto), mediante algún mecanismo automático el regulador procederá a cerrar el obturador de la válvula hidráulica del hidrante, de tal manera que se incrementen las pérdidas de carga hasta reducir la presión aguas abajo al nivel de consigna. Así, en la FIGURA AII. 1 tanto si la presión es p_A (47 mca) en el caso A como p_B (42 mca) en el caso B, los diversos niveles de apertura de la válvula del hidrante provocarán pérdidas de carga de 7 mca y 2 mca respectivamente para mantener invariable en el punto P de alimentación de la parcela la presión de consigna (40 mca).

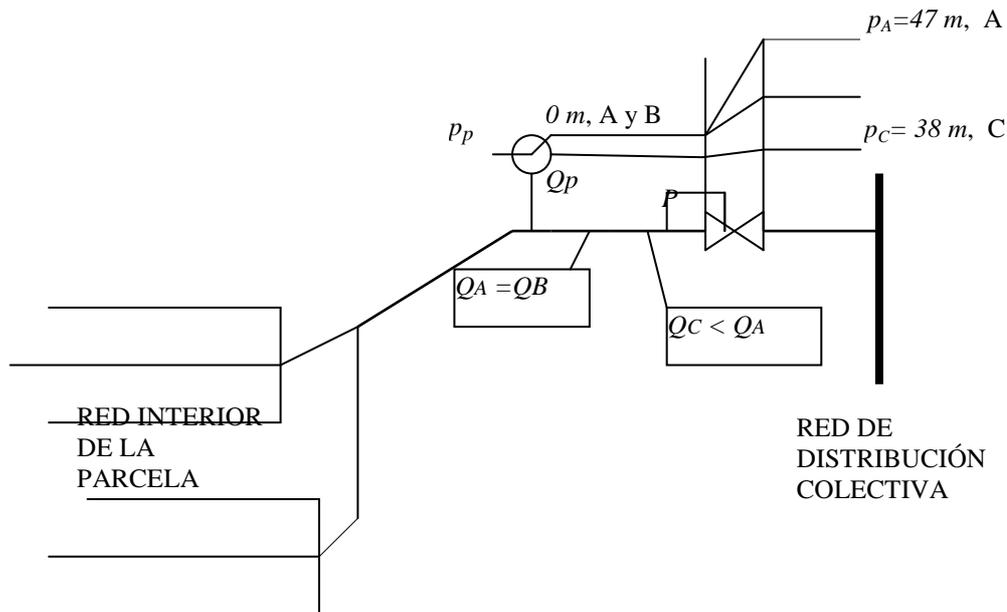


FIGURA AII. 1 Operación de una válvula reductora de presión.

Todo lo contrario sucederá si el regulador de presión detecta una disminución de presión aguas abajo del hidrante, procederá entonces a abrir la válvula hidráulica del hidrante para que las menores pérdidas de carga provocadas en tal caso, respecto a la situación inicial, compensen el decremento de presión en la red. No obstante, el proceso descrito no puede continuar indefinidamente, de tal manera que, cuando la válvula correspondiente al hidrante se encuentre completamente abierta, nuevos descensos de presión en la red no podrán ser contrarrestados por el regulador con aperturas adicionales de una válvula ya completamente abierta, como se indica en la FIGURA AII. 1 para el caso C, con presión de alimentación en la red colectiva de 38 mca. Se transmitirá entonces directamente la presión local de la red a la parcela (descontando, claro está, las pérdidas de carga que existan en el hidrante cuando se encuentra su válvula reguladora completamente abierta). En definitiva: para mantener la presión constante e igual al valor de consigna, el regulador de presión necesita que la presión en la red sea superior al valor de consigna más el valor de las pérdidas de carga a través del hidrante completamente abierto.

AII.2 OPERACIÓN DEL LIMITADOR DE CAUDAL.

El limitador de caudal tiene como misión evitar que se extraiga del hidrante un caudal instantáneo superior al que el regante tiene concedido como valor máximo (dotación), y que suele coincidir con la demanda instantánea del hidrante cuando éste se abre (aunque no siempre tiene porqué ser necesariamente así, como se verá posteriormente).

Si por cualquier circunstancia (baja resistencia hidráulica de la red interna, rotura de la red, descarga directa a la atmósfera, alteración, intencionada o no, de los parámetros del regulador de presión...), el caudal superase el valor de la dotación

concedida al regante, el dispositivo limitador de caudal anulará la acción de regulador de presión, estrangulando por si mismo el paso del flujo (introduciendo pérdidas de carga suplementarias) tanto como sea necesario para reducir nuevamente el caudal hasta el valor de la dotación. En tal caso, ciertamente la presión de alimentación de los equipos no será la presión de consigna, siendo esta presión, impuesta por el limitador de caudal, el valor necesario para que las instalaciones hidráulicas del sector de riego en operación emitan justamente la dotación.

AII.3 RESPUESTA HIDRÁULICA DE LOS HIDRANTES.

La constancia de la presión aguas abajo del hidrante se traduce en la constancia del caudal emitido por el conjunto de dispositivos de riego conectados al hidrante. Efectivamente, mientras se mantengan inalteradas la distribución de conducciones y emisores en la parcela, para una misma presión de alimentación en la toma común (casos A y B de la FIGURA AI. 3) el caudal emitido será el mismo ($Q_A = Q_B$). Lógicamente, si se altera la conexión de los sectores de riego, o si se modifican los reguladores interpuestos en el interior de la parcela entre el hidrante y los emisores, el caudal neto circulante hacia los equipos, Q_p , se modificará, pero este permanecerá constante en la medida en que se mantenga la disposición de las instalaciones hidráulicas de aplicación del agua.

En consecuencia, a efectos del análisis hidráulico, **la red colectiva y las instalaciones hidráulicas de la parcela pueden considerarse completamente independientes, siempre y cuando en la red colectiva reine presión suficiente como para garantizar la actuación del reductor de presión** y, en este caso, a la hora de efectuar el análisis de la red de distribución colectiva la condición que debe imponerse como conocida en el nodo donde se instala el hidrante es la constancia de caudal extraído, independientemente de la presión en la red.

Esta demanda instantánea, siempre inferior o igual a la dotación, puede ser conocida experimentalmente, una vez que se ha amueblado la parcela, mediante la medición “in situ” de los volúmenes aportados en la unidad de tiempo, fáciles de determinar gracias a los contadores volumétricos que suele instalarse actualmente en todos los hidrantes, o mediante caudalímetros portátiles (volumétricos, ultrasonidos) que puede conectarse provisionalmente con dicho propósito. Puesto que el número de tomas en una red colectiva es moderado, resulta sencillo aplicar el procedimiento descrito.

Ahora bien, al hilo de este análisis cabría plantear dos cuestiones de sumo interés de cara a la correcta modelización del sistema bajo todas las condiciones:

1) ¿Cómo anticipar el valor de la demanda en un hidrante **cuando existe presión suficiente en la red y el reductor de presión está operativo?**

2) ¿Cómo anticipar el valor de la demanda en un hidrante cuando **no existe presión suficiente en la red y el reductor de presión está completamente abierto?**

Se procede a tratar con algún detalle ambas cuestiones.

VALOR DE LA DEMANDA CUANDO EL REDUCTOR DE PRESIÓN DEL HIDRANTE ESTÁ OPERATIVO.

El proyectista de la red deberá procurar que, para la presión de consigna que establezca, el caudal emitido por los equipos de riego se ajuste a la dotación autorizada al regante, pues si este es inferior (p.e. por tener la red demasiada resistencia hidráulica) el tiempo de riego se prolongará más de lo necesario. Ahora bien, si la resistencia hidráulica del conjunto de la red interior es demasiado baja, o si se aumenta el valor de tarado del regulador de presión, el caudal extraído podría llegar a ser mayor que la dotación. Para evitar esta circunstancia es preciso instalar adicionalmente en el hidrante un segundo dispositivo regulador: el limitador de caudal. El buen proyecto de la red interna deberá, en consecuencia, agotar, sin superar, la dotación del hidrante cuando la parcela se alimenta con la presión de consigna.

No obstante, si una parcela posee muy diferentes sectores de riego y/o se encuentra en un proceso de implantación de las instalaciones de riego o de los cultivos, pueden encontrarse situaciones en que se proyecte deliberadamente un consumo instantáneo inferior a la dotación.

El valor de dichos consumos puede anticiparse en función del diseño y comportamiento hidráulico en el interior de la parcela. **Cuando existe presión en la red colectiva por encima de la consigna del regulador de presión, la red interior puede independizarse de la red colectiva, y la condición que se debe imponer en la alimentación de la red interna es precisamente la presión de tarado del regulador**, por lo que el dato conocido en la cabecera de la parcela es la altura piezométrica aguas abajo del hidrante. Con esta presión de alimentación de la red de distribución interior, y dada la disposición de sus respectivos emisores, conducciones y reguladores adicionales, se realizará una cierta proyección de caudal al exterior. Mediante las estimaciones del proyecto del amueblamiento, o realizando la simulación hidráulica del sistema de riego interior mediante *GESTAR*, se deducirá el caudal realmente demandado por el sector de riego ante la presión de consigna.

Puede concluirse que, en virtud de:

- La existencia y correcta operación del limitador de caudal en el hidrante.
- La existencia de un correcto proyecto de la parcela, que busque agotar la dotación del hidrante en cada aplicación de agua.
- La existencia en la red colectiva de niveles de presión superiores a la consigna del regulador de presión del hidrante.

el caudal que se extrae de la red a través de un hidrante en un regadío ya consolidado será muy probablemente constante e igual a la dotación.

En todo caso, aunque el sistema hidráulico de la parcela no agote toda la dotación, el caudal extraído del hidrante será constante (e inferior a la dotación) mientras la presión de la red sea superior al valor de consigna del reductor de presión correspondiente y no se alteren las instalaciones hidráulicas de la parcela.

COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA CUANDO NO EXISTE PRESIÓN SUFICIENTE PARA LA OPERACIÓN DEL REDUCTOR DE PRESIÓN.

Cuando aguas arriba del reductor de presión no se alcanza presión suficiente como para mantener aguas abajo la presión de consigna, éste permanecerá abierto e inactivo, transmitiendo directamente a la cabecera de la parcela la presión de la red colectiva y todas sus fluctuaciones (salvo que la resistencia hidráulica de la red interna de la parcela sea tan baja que el caudal supere todavía el valor de dotación y el sistema limitador de caudal siga teniendo que intervenir).

En tal caso, el comportamiento hidráulico de la red colectiva y el de la red de la parcela ya no son independientes, encontrándose ambas intrínsecamente ligadas ya que, dependiendo del tipo y número de emisores, de su disposición, de las conducciones instaladas... la red interna permitirá un mayor o menor trasiego de caudal a los cultivos en respuesta a la presión que le llega desde la red, que ya no será constante ni conocida “a priori” como sucedía cuando el reductor de presión era capaz de cumplir su función.

En principio, para tratar estas circunstancias sería necesario incluir en el escenario de la red colectiva la configuración de todos los dispositivos hidráulicos internos conectados a la red, analizando conjuntamente el comportamiento integrado de todo el sistema así constituido.

No obstante, esta descripción pormenorizada, aun siendo abordable en último extremo, resultaría excesivamente prolija y poco práctica de cara a la gestión de la red colectiva.

El problema puede obviarse utilizando una técnica alternativa que **describe el comportamiento hidráulico de la parcela mediante una curva que sintetiza la respuesta del caudal total emitido por el conjunto de equipos instalados en la parcela respecto a la presión de alimentación de la tubería primaria**. Dado que con diferentes presiones de alimentación una determinada red interior emitirá diferentes caudales, si se dispone de una relación $H_p = H_p (Q_p)$ que vincule la altura presión aguas abajo de la toma de la parcela, H_p con el caudal total circulante hacia los equipos de la parcela cuando se alimenta con dicha presión, Q_p , expresada, por ejemplo, como una función potencial del tipo:

$$H_p = H_p (Q_p) = K_s Q_p^N \quad (\text{AII.1})$$

se podrá tratar todo el sistema “colgado” a partir de un hidrante como un emisor (Anexo III, pág. 265) de comportamiento hidráulico equivalente que posee la misma curva de respuesta presión/caudal (FIGURA AII. 2).

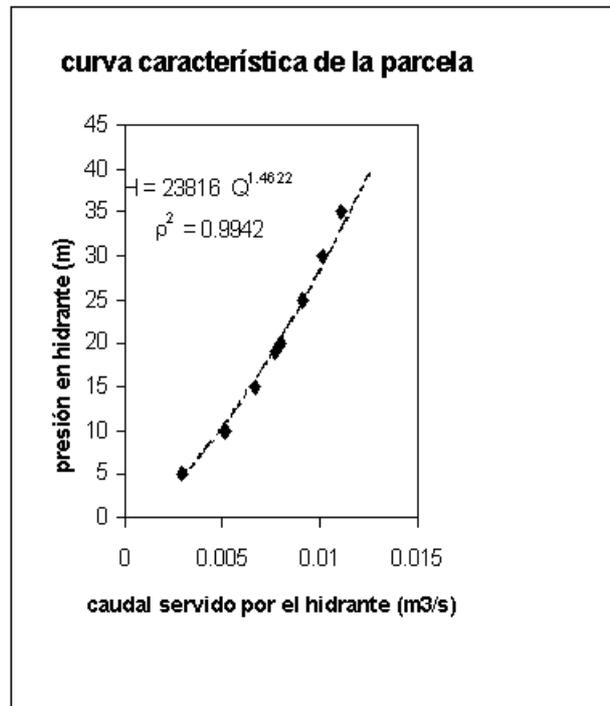


FIGURA AII. 2 Ejemplo de ajuste potencial $H_p = K_s Q_p^N$ de la función que vincula la presión de alimentación de las instalaciones de la parcela con el caudal neto servido a las mismas.

La determinación de los coeficientes K_s y N de la citada función de respuesta (AII.1) puede ser acometida (FIGURA AII. 2) mediante técnicas de ajuste potencial por mínimos cuadrados de un conjunto de pares de valores: presión de alimentación/caudal total circulante, encontrados de forma analítica o experimental.

Si se recurre a una metodología analítica se simulará -con el auxilio de un paquete adecuado de cálculo hidráulico, p.e. *GESTAR*- la red completa de distribución en la parcela con todos sus emisores y dispositivos de control (FIGURA AII. 3), alimentándola en sucesivas simulaciones con diferentes presiones, H_p , y calculando el correspondiente caudal circulante por la conducción primaria hacia el sistema de riego, Q_p . Esta técnica permitirá predecir la curva de respuesta presión/caudal, $H_p = H_p (Q_p)$, tanto si el amueblamiento se ha realizado como si todavía está en proyecto.

Si las instalaciones interiores ya se han ejecutado y se encuentran operativas, la función $H_p = H_p (Q_p)$ de toda la parcela se puede encontrar empíricamente estrangulando gradualmente una válvula situada después del hidrante (FIGURA AII. 3) y midiendo simultáneamente, para cada grado de cierre de la válvula, la presión en el manómetro, H_p , y el correspondiente caudal circulante por la cabecera de la toma, Q_p .

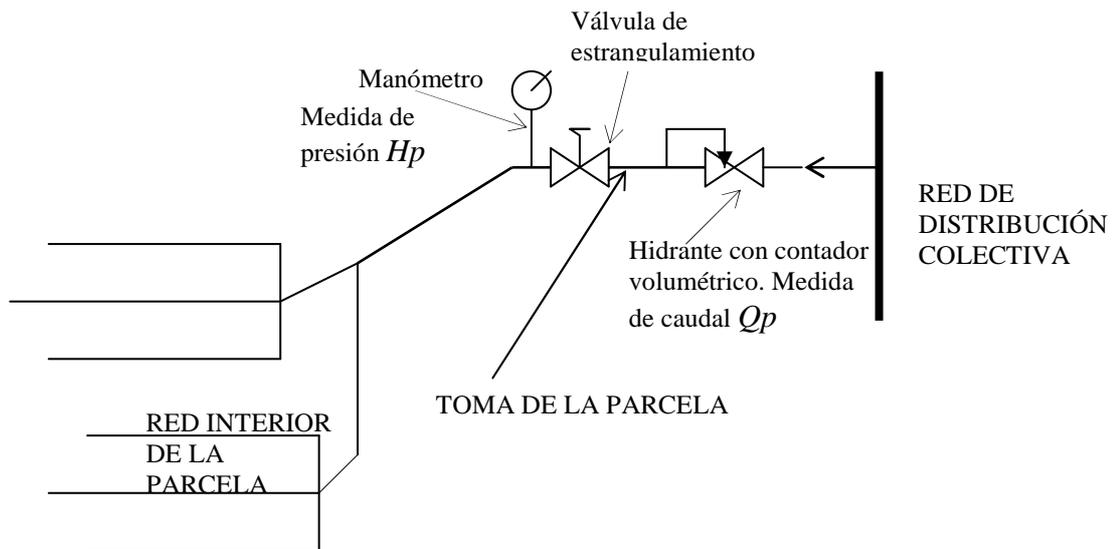


FIGURA AII. 3 Ensayo de campo para la medida de la función de respuesta de la parcela $H_p = H_p (Q_p)$

Cualquiera de las dos metodologías son lo suficientemente sencillas como para ser implementadas en la práctica, especialmente si se realiza el diseño de la red de la parcela con el auxilio de *GESTAR*, requiriéndose en cualquier caso un tiempo y recursos mínimos respecto a otras tareas de proyecto o gestión habitualmente asumidas en la ingeniería del riego.

AII.4 MODELIZACIÓN DE LOS HIDRANTES EN *GESTAR*.

El comportamiento descrito de los hidrantes es implementado de forma compacta en el módulo de cálculo *NETCAL*. Los valores de K_s y N de la curva de comportamiento de la parcela son introducidos en *GESTAR* en la ventana de definición de los hidrantes (ver FIGURA 4. 24, pág. 107, asimismo se introduce el valor del coeficiente dimensional de pérdidas singulares en el hidrante, K_{sH} , cuando éste se encuentra completamente abierto, correspondiente a la expresión:

$$\Delta H = K_{sH} Q^2 \quad (\text{AII.2})$$

que puede hacerse nulo si se desprecian dichas pérdidas.

El comportamiento combinado del regulador de presión y caudal del hidrante, integrado con la respuesta de la parcela, puede modelarse de forma compacta combinando la curva de respuesta presión/caudal y el valor de consigna del limitador de caudal. La descripción de la estrategia implementada se apoya en la FIGURA AII. 4, donde, para simplificar el razonamiento, se supone que la demanda instantánea establecida en la ventana del hidrante coincide con la dotación. La presión de consigna del reductor de presión es H_c y la demanda de la parcela cuando la toma se abre es Q_{dot} .

La aproximación potencial que se realiza de la respuesta presión/caudal de la parcela deberá corresponder a las curvas de tipo *A* ó *B*, dado que el tipo *C* no es

compatible con las condiciones de alimentación impuestas. En la curva C de la FIGURA AII. 4 se observará que si se alimenta la red con presiones superiores a la de consigna, el regulador reducirá la presión al nivel de consigna, pero la red de la parcela, alimentada con dicha presión, evacuará un caudal inferior a la demanda supuesta, que en este caso es igual a la dotación. Para evitar esta situación contradictoria la ventana de definición de los hidrantes reguladores realiza una verificación de los valores introducidos que excluye tal posibilidad.

En la FIGURA AII. 4 la curva de respuesta presión/caudal A indica que justamente se suministra el valor de la dotación para la presión de consigna. La curva A pasa por el punto (H_c, Q_{dot}) , de manera coherente con los datos suministrados, sin que exista intervención del limitador del caudal. La parcela estará óptimamente diseñada al agotar todo el caudal otorgado, Q_{dot} , cuando se alimenta con la presión de consigna, H_c .

Si la parcela posee una curva de alimentación de tipo B , una alimentación con la presión de consigna H_c , implica un suministro de caudal a la parcela Q_{max} , de valor superior a la dotación configurada ante la apertura en el hidrante. Deberá mediar entonces la intervención del limitador de caudal que, produciendo una caída de presión adicional, $H_c - H_{límite}$, impedirá superar el valor de Q_{dot} . La parcela, que posee una resistencia hidráulica neta más baja que la del caso A , será alimentada por una presión inferior a la de consigna, $H_{límite}$, que es justamente aquella necesaria para evacuar el valor de la dotación limitada, Q_{dot} . El valor de $H_{límite}$ se conoce en función de los valores de K_s , N y la dotación especificados en el hidrante (ver FIGURA AII. 4).

El módulo de cálculo, en cada iteración, comprueba el nivel de presión que existirá después del hidrante con los elementos de regulación completamente abiertos, H_{cal} (presión en la red calculada, menos las pérdidas en la(s) válvula(s) correspondientes al hidrante completamente abierta(s)), y modifica la modelización del hidrante, según sean los valores relativos de H_{cal} y $H_{límite}$, de la siguiente manera:

$$H_{cal} > H_{límite}$$

Si la presión después del hidrante, H_{cal} , es superior o igual a $H_{límite}$ (casos A y B), el hidrante se configura como nodo de consumo conocido con consumo igual a la dotación. En el caso B la presión en la red podrá incluso bajar por debajo del valor de consigna, H_c , sin que se modifique el caudal extraído por el hidrante, siempre y cuando H_{cal} se mantenga por encima de $H_{límite}$.

$$H_{cal} < H_{límite}$$

Si la presión después del hidrante, H_{cal} , es inferior a $H_{límite}$, se configurará el hidrante como emisor con la curva de respuesta $H_p = K_s Q_p^N$, con los valores K_s y N especificados en la ventana de definición.

Finalmente, hay que recordar que el razonamiento anterior ha partido del supuesto en que la demanda instantánea equivale a la dotación que la parcela tiene concedida. No obstante puede darse el caso en que esto no sea así. Previendo esta eventualidad, en el procedimiento anteriormente descrito, el algoritmo se implementa en la práctica utilizando el valor de la demanda instantánea -establecida en la ventana de definición del hidrante (ver FIGURA 4. 24, pág. 108) y que es igual o menor que la dotación del hidrante- en vez del valor de la dotación. Esto implica que se supone que la

consigna del limitador de caudal del hidrante se regula siempre al mismo nivel establecido en la ventana de la demanda instantánea.

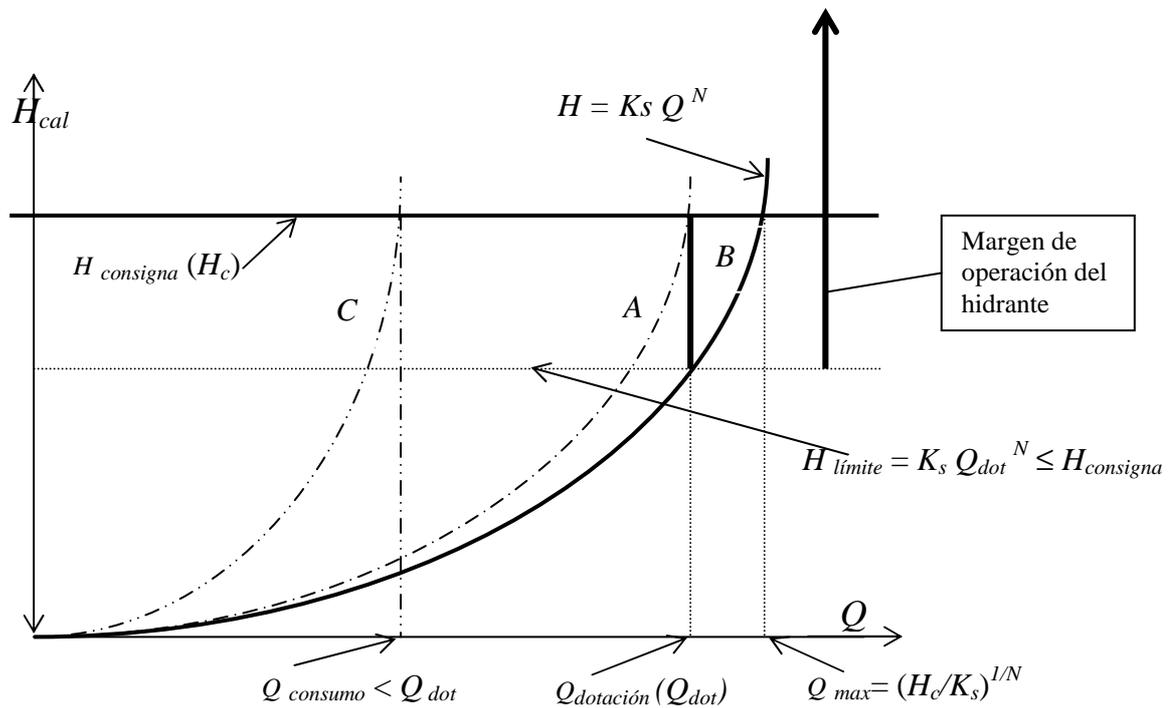


FIGURA AII. 4 Modelización de hidrantes reguladores

ANEXO III. MODELIZACIÓN DE EMISORES

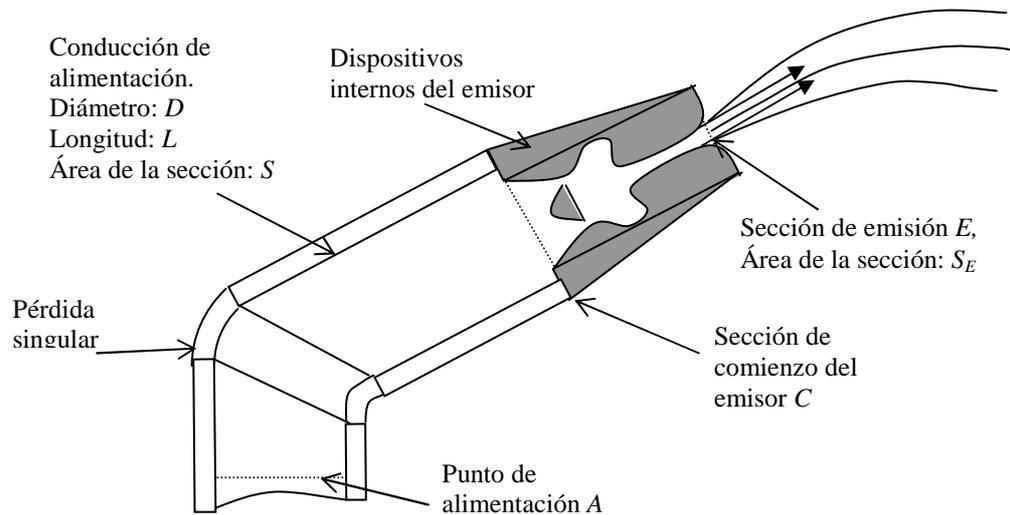


FIGURA AIII. 1 Definición de variables en emisor.

Sea P , Z y V la presión, la cota y la velocidad en un punto de la conducción, respectivamente. El salto de altura energética entre los extremos de un dispositivo emisor que comienza en C (FIGURA AIII. 1) y descarga a la atmósfera en el punto E a través de una sección S_E un líquido de densidad ρ , es

$$\left(\frac{P}{\rho g} + Z + \frac{V}{2g} \right)_C - \left(\frac{P}{\rho g} + Z + \frac{V}{2g} \right)_E = K'(Rey, P_C) Q^2 \quad (\text{AIII.1})$$

donde el lado derecho de (AIII.1) se asocia a las pérdidas de carga en el propio emisor (disipación en el emisor de energía mecánica en la unidad de tiempo por unidad de peso circulante). El coeficiente K' en (AIII.1) es función de la geometría, número de *Reynolds* (y en consecuencia del caudal) y además de la presión de alimentación, P_C , en el caso de poseer elementos deformables (emisores autocompensantes).

Reordenando la expresión (AIII.1) y puesto que la presión en la sección de descarga, S_E , es la de la atmósfera, ($P_E = P_{atm}$), (AIII.1) equivale a:

$$H_E - H_C = \left(\frac{P}{\rho g} + Z \right)_C - \left(\frac{P}{\rho g} + Z \right)_E = K' Q^2 + \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{S_E^2} - \frac{1}{S_C^2} \right) Q^2 \quad (\text{AIII.2})$$

En (AIII.2) el segundo término de la derecha se puede interpretar como la pérdida de toda la energía cinética con que se proyecta el fluido en la sección de emisión, donde la presión es atmosférica.

El último término de (AIII.2) corresponde a la energía cinética del flujo a la entrada del emisor, término habitualmente despreciable.

Dado que las secciones de proyección de caudal no suelen encontrarse bien definidas en la práctica, las tres contribuciones de la derecha de (AIII.2), todas dependientes del caudal, admitirán una aproximación conjunta, al menos para un cierto rango de caudales, de tipo potencial:

$$K_s Q^N := K' Q^2 + \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{S_E^2} - \frac{1}{S_C^2} \right) Q^2 \quad (\text{AIII.3})$$

Lógicamente el coeficiente K_s y el exponente N en (AIII.3) son distintos de los que figuran en (AIII.2) y sus valores se determinan fácilmente ajustando una función potencial a los datos experimentales documentados por los fabricantes, que reflejan el caudal emitido en función de la presión de alimentación relativa a la atmósfera.

En los emisores para riego localizado la contribución de energía cinética en la descarga es despreciable, pero K' depende del caudal, induciendo valores de N superiores a 2. No así sucede en otros dispositivos (aspersores, mangueras, fugas,...) de alta energía cinética a la salida, donde K' tiende a ser un valor constante, lo que implica un valor de N igual a 2.

La diferencia de cotas entre C y E puede despreciarse sistemáticamente, por lo que el salto de alturas piezométricas entre los extremos del emisor, $\Delta H = H_C - H_{atm}$, se identifica sistemáticamente en la práctica con la altura de la presión manométrica que alimenta el emisor:

$$\Delta H = H_C - H_{atm} = (P_C - P_{atm}) / \rho g \quad (\text{AIII.4})$$

En consecuencia, el comportamiento del dispositivo emisor se modeliza según:

$$\Delta H = K_s Q^N \quad (\text{AIII.5})$$

Puesto que los emisores se conectan a los puntos de alimentación mediante conductos, que a su vez incluyen pérdidas singulares y lineales, conviene reunir en un solo elemento el emisor y el conducto asociado mediante una expresión adecuada para el salto de altura piezométrica.

Suponiendo que el emisor se encuentre al final de un tramo de longitud L , de una conducción de diámetro hidráulico D , sección constante S y que contenga pérdidas singulares dadas por coeficientes adimensionales k , la diferencia de alturas piezométricas entre el extremo inicial del elemento A (FIGURA AIII. 1) y el punto de comienzo del emisor C se evaluará de la siguiente manera:

$$H_A - H_C = \frac{1}{2g} \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum k \right) \frac{Q^2}{S^2} \quad (\text{AIII.6})$$

donde se ha recurrido a la formulación de *Darcy-Weisbach* para el cómputo de las pérdidas lineales, siendo λ el coeficiente de fricción.

Despejando el valor de la altura piezométrica en C por medio de la expresión (AIII.2) e introduciéndolo en (AIII.6), se obtendrá la ecuación que modeliza el conjunto emisor:

$$\Delta H = H_A - H_E = \frac{1}{2g} \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum k \right) \frac{Q^2}{S^2} + K_s Q^N \quad (\text{AIII.7})$$

Cuando la emisión se realice a través de válvulas abiertas, descargas libres, fisuras y fugas, la contribución $K_s Q^N$ de (AIII.7) deberá substituirse por su expresión inicial (AIII.3) ya que entonces S , S_E serán impuestas y K' se deducirá del coeficiente adimensional de pérdidas de la singularidad a través de la que se evacue el caudal.

En los sistemas de riego por aspersión, incluso en las coberturas totales, las actuales herramientas computacionales que aporta *GESTAR* permiten abordar la consideración individual de cada aspersor como un emisor específico, aunque el entorno gráfico deberá ser potenciado para abordar con facilidad sistemas de centenares o miles de aspersores.

No obstante, en los riegos localizados aparecen numerosos emisores consecutivos, que, en el caso más extremo, los ramales de goteo, pueden contener hasta cientos de puntos de emisión en cada ramal. Las cintas de exudación de paredes permeables, que realizan un aporte de caudal continuamente distribuido, pueden considerarse como un caso límite de este grupo. En estos casos el tratamiento de cada punto de emisión como un nodo específico de la red no resulta práctico ni viable, con las aproximaciones individualizadas que se han descrito dada la enorme dimensionalidad gráfica y computacional que se introduciría en el sistema, siendo de interés el introducir nuevas aproximaciones aptas para su tratamiento computacional que superen a las clásicas hipótesis simplificadoras que suponen el caudal suministrado independiente de la presión, pero que no exijan una ecuación de comportamiento para cada emisor. En este terreno se han realizado formulaciones preliminares, pendientes de verificar y que, en consecuencia, no se han incorporado a *GESTAR 1.2*. La modelización avanzada del funcionamiento de dichos dispositivos ha requerido adaptar formulaciones recientes^{5,6} obteniendo ecuaciones de comportamiento de carácter analítico que son consideradas y resueltas conjuntamente con el resto del sistema para determinar, como parte integral de los resultados, el caudal efectivamente suministrado por cada grupo de emisores.

ANEXO IV. PROBABILIDAD DE APERTURA DE UN HIDRANTE

En el cómputo de la probabilidad de apertura de un hidrante se precisa conocer los siguientes parámetros:

q_{fc} = Caudal ficticio continuo (l/S.ha)

S_p = Superficie de la parcela (ha)

Q_{dot} = Dotación de caudal para la parcela (m³/s)

r = Rendimiento operativo

$$r = T_r / T \quad (\text{AIV.1})$$

r mide la proporción del tiempo en que efectivamente se aplica el riego, T_r , descontando los periodos de reparación o mantenimiento, los días inhábiles para el riego, las horas extremas, etc. respecto al tiempo total de la campaña, T . Es preciso considerar este factor para determinar el tiempo de uso de cada hidrante, ya que en el cómputo del caudal ficticio continuo, q_{fc} , se supone una aportación ininterrumpida de agua a lo largo de las 24 horas del día.

El tiempo de uso asociado a una toma, t , equivale al tiempo necesario para recibir el volumen de agua que requiere la parcela, según las necesidades de los cultivos, dadas por q_{fc} , es decir:

$$10^3 \cdot Q_{dot} \cdot t = q_{fc} \cdot S_p \cdot T \quad (\text{AIV.2})$$

Despejando t de (AIV.2) se obtiene el tiempo de riego de la parcela para el hidrante instalado:

$$t = \frac{q_{fc} \cdot S_p}{10^3 \cdot Q_{dot}} \cdot T \quad (\text{AIV.3})$$

La probabilidad de apertura de un hidrante se define como el cociente entre el tiempo que el hidrante debe estar abierto, t , respecto al tiempo efectivamente disponible para regar, T_r . Teniendo en cuenta (AIV.1) y (AIV.3) esta probabilidad se evalúa:

$$p = \frac{t}{T_r} = \frac{1}{r} \cdot \frac{t}{T} = \frac{q_{fc} \cdot S_p}{10^3 \cdot Q_{dot}} \cdot \frac{1}{r} \quad (\text{AIV.4})$$

El Grado de Libertad, GL , del hidrante se define como el inverso de la probabilidad y representa el número de veces que el tiempo realmente disponible, T_r , contiene al tiempo necesario para el riego, t , y se expresa como:

$$GL = \frac{1}{p} = \frac{T_r}{t} = \frac{10^3 \cdot Q_{dot} \cdot r}{q_{fc} \cdot S_p} \quad (\text{AIV.5})$$

Si, dados q_{fc} , S_p y r se fija la dotación, Q_{dot} , mediante (AIV.4), se determina la probabilidad de apertura del hidrante, de la que también se deducirá el grado de libertad.

Si, alternativamente, se fija el grado de libertad, GL , o lo que es lo mismo, la probabilidad de uso de un hidrante, de (AIV.5) se deduce la dotación que es preciso asignar a cada hidrante:

$$Q_{dot} = \frac{q_{fc} \cdot S_p}{10^3 \cdot r} \cdot GL \quad (\text{AIV.6})$$

Cuando las dotaciones de los hidrantes están reducidas a valores escalonados, el proyectista define, según el tamaño de la parcela, el rango de dotación adecuada. En tal caso la dotación será dato y la probabilidad de apertura diferirá de una parcela a otra, calculada por (AIV.4).

En la actualidad es posible establecer también consignas arbitrarias en los limitadores de caudal de los hidrantes, permitiéndose cualquier valor dentro del rango del tamaño respectivo, que puede ser fijado en fábrica y/o modificado en el campo. En tal caso puede resultar de interés especificar un grado de libertad homogéneo para un conjunto de las parcelas, o todas, con objeto de que los riegos se efectúen con flexibilidad pareja, calculándose entonces la dotación según (AIV.6).

En la ventana de definición de los Nodos de Consumo Conocido (ver FIGURA 4. 23, pág. 104) y de los Hidrantes Reguladores (ver FIGURA 4. 24, pág. 107) aparecen opciones para introducir la dotación (opción por defecto) o el grado de libertad como parámetros básicos de definición del nodo. La opción por defecto no precisa suministrar los valores de q_{fc} , S_p y r salvo que se desee hacer intervenir las probabilidades de apertura de cada hidrante, mientras que si se elige la especificación del grado de libertad, necesariamente el usuario tendrá que suministrar además, estos valores para fijar la dotación.

ANEXO V. SISTEMA GESTOR DE BASES DE DATOS

GESTAR ofrece la posibilidad de realizar el mantenimiento de todo el sistema de bases de datos desde el propio programa.

Para modificar estas bases de datos externamente, téngase en cuenta que han sido creadas mediante *Access97*. Pueden ser editadas desde versiones posteriores de *Access*, pero sin convertir las estructura original a la nueva versión de *Access*.

Las bases de datos de *GESTAR* se copian automáticamente durante la instalación del programa. Dentro de la ruta de instalación, se encuentran en la carpeta llamada *SEG-BdD*.

Si en el menú *Fichero* de la barra de menús de *GESTAR* se selecciona la opción *Modificar Bases de Datos* se obtiene la pantalla mostrada en la FIGURA AV. 1.



FIGURA AV. 1 Modificación de Bases de Datos.

Esta ventana posibilita el mantenimiento, ampliación o modificación de cada una de las bases de datos que contiene *GESTAR*. En función de cuál sea la base de datos a la que se pretenda tener acceso, se deberá pulsar uno u otro botón.

AV.1 MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS DE TUBERÍAS.

IMPORTANTE: Respete en todo momento la estructura de la base de datos *Tuberias.mdb*. Dentro de esta base de datos, solamente las tablas *Material*, *Timbrajes* y *Tub_Comerc* contienen información referente a conducciones. Tenga especial cuidado en:

- ◆ no introducir espacios en blanco dentro de cada celda de estas tablas.
- ◆ En el campo *Referencia* de la tabla *Tub_Comerc*, los primeros caracteres han de ser numéricos para indicar el diámetro nominal de las conducciones. No pueden existir dos Referencias iguales en toda la tabla.
- ◆ Respete las siguientes limitaciones en el número máximo de caracteres de determinados campos. Tabla *Materiales*, campo *Fabricante*, 15 caracteres, campo *Descripcion*: 15 caracteres; Tabla *Timbrajes*, campo *Descripcion*: 8 caracteres.

La no observancia de estas consideraciones puede conducir a un incorrecto funcionamiento del programa, especialmente del módulo de dimensionado *DIOPCAL*.

Si se opta por hacer el mantenimiento de la base de datos de *Tuberías* se obtiene una pantalla inicial como la de la FIGURA AV. 2.

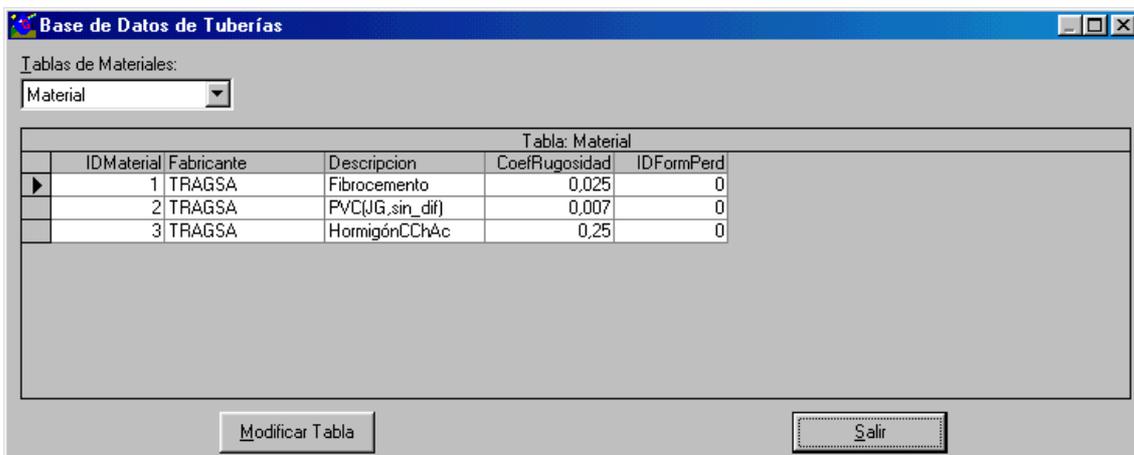


FIGURA AV. 2 Base de Datos de Tuberías.

En ella se da la posibilidad de seleccionar, mediante la lista desplegable superior, una de las tres tablas con información relativa a las conducciones (*Material*, *Timbrajes* y *Tub_Comerc*).

La pantalla tiene además dos botones. El botón *Modificar Tabla* sirve para modificar la tabla seleccionada. Pulsando este botón aparece la tabla de la FIGURA AV. 3.

Tabla: Material					
IDMaterial	Fabricante	Descripción	CoefRugosidad	IDFormPerd	
1	TRAGSA	Fibrocemento	0,025	0	
2	TRAGSA	PVC(JG_sin_dif)	0,007	0	
3	TRAGSA	HormigónCChAc	0,25	0	
*					

Buttons:

FIGURA AV. 3 Modificación de tabla de Tuberías

La diferencia entre esta tabla y la anterior es que la de la FIGURA AV. 3 es totalmente editable, mientras que la anterior (FIGURA AV. 2) es una tabla protegida contra escritura, de modo que solamente puede ser leída.

El botón *Borrar Tabla* de la FIGURA AV. 2 permite, después de contestar a una verificación, borrar el contenido de la tabla seleccionada.

AV.2 MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS DE VÁLVULAS.

Cuando en la pantalla principal del *Sistema Gestor de Base de Datos* (FIGURA AV. 1) se escoge la opción de *Válvulas*, se muestra una pantalla (FIGURA AV. 4) bastante similar a la de la FIGURA AV. 2 pero con ligeras diferencias.

Válvulas					
Tipo	Datos	Material	Fabricante	Peso	PVP
Asiento	Tabla1				
Bola	Tabla2				
Compuerta	Tabla3				
Mariposa	Tabla4				

Buttons:

FIGURA AV. 4 Base de Datos de Válvulas

En esta ventana se tiene en pantalla un listado de todas las válvulas disponibles en la base de datos de *GESTAR*. En dicho listado se incluye el nombre de la tabla que guarda los datos hidráulicos de cada tipo de válvula.

Si se desea añadir una nueva válvula a este listado, basta con pulsar el botón *Añadir/ Modificar Válvulas*. De este modo, la lista dejará de estar protegida contra escritura y se podrán introducir nuevos datos de válvulas.

Por otro lado, en la esquina superior izquierda de la ventana de la *Base de Datos de Válvulas* (FIGURA AV. 4) se ofrece la posibilidad de elegir el nombre de una tabla, que podrá ser modificada pulsando el botón *Ver/ Modificar Tabla*. Se obtendrá la ventana de la FIGURA AV. 5.

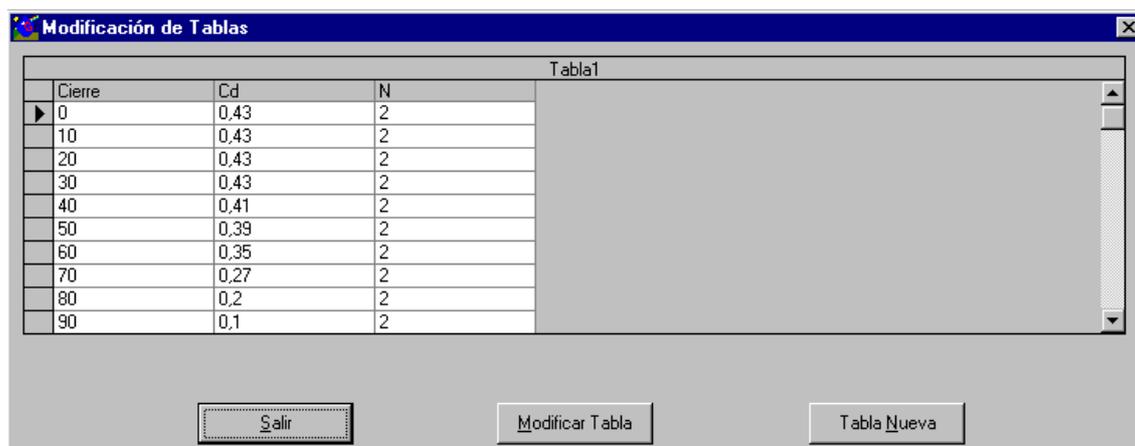


FIGURA AV. 5 Modificación de Tablas.

Esta ventana contiene de nuevo dos botones. Uno es para modificar la tabla que se tiene en ese momento en pantalla y otro para introducir una nueva tabla.

Seleccionando esta última opción, se observa que la tabla que se ofrece para rellenar aparece parcialmente llena, tal y como se ve en la FIGURA AV. 6.

Además, como ocurría en tablas explicadas anteriormente, se nos da la oportunidad en varias ventanas de borrar las tablas con la opción *Borrar Tabla*.

**FIGURA AV. 6 Modificación de Tablas**

Es obligatorio que el porcentaje de cierre vaya de 0 a 100 en intervalos de 10 unidades. Esto se debe al modo de acceso sobre esta tabla que tiene el módulo que realizar los cálculos en el programa *GESTAR*. Por otra parte, la columna del exponente *N* aparece con el valor 2, que es el valor que frecuentemente adopta dicho exponente.

AV.3 MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS DE ACCESORIOS.

El mantenimiento de la base de datos de *Accesorios* es completamente análogo al de *Válvulas*. De este modo, la primera pantalla que presenta *GESTAR* es una similar a la de la FIGURA AV. 4, sólo que en ella se ofrece una lista de accesorios disponibles en lugar de una lista de válvulas.

El mantenimiento de esta base de datos es idéntico al mantenimiento de la base de datos de *Válvulas*. Así pues, es posible añadir nuevos accesorios, modificar los ya existentes, añadir nuevas tablas de datos, etc.

AV.4 MANTENIMIENTO DE LA BASE DE DATOS DE EMISORES.

El mantenimiento de la base de datos de *Emisores* es ligeramente distinto a los tres casos anteriores. Se trata de un caso híbrido entre la base de datos de *Tuberías* y la de *Válvulas*.

Cuando se pulsa el botón *Emisores* de la ventana de la FIGURA AV. 1, se despliega la ventana de la FIGURA AV. 7.

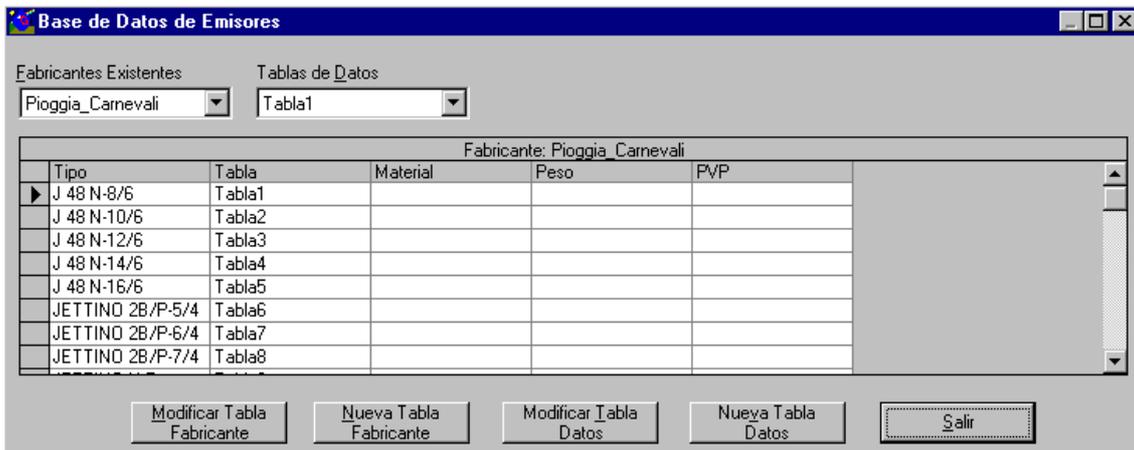


FIGURA AV. 7 Base de Datos de Emisores.

En esta ventana se tienen dos claves de acceso. Una es la referente al fabricante del emisor y la otra es la referente a la tabla que recoge los datos de un emisor determinado.

El fabricante se selecciona en la lista de la parte superior izquierda de la pantalla y la tabla de datos en el recuadro contiguo. Ambos conceptos están ligados internamente pero son independientes a la hora de ser modificados o visualizados.

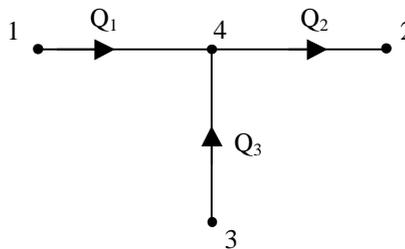
A la vista de la FIGURA AV. 7, es posible modificar un fabricante o tabla de datos ya existente, o bien añadir un nuevo fabricante o una nueva tabla. Si se selecciona la opción *Modificar* (ya sea fabricante o tabla) se obtiene una base de datos editable sobre la cual es posible modificar, borrar o añadir datos nuevos. Por el contrario, si se elige la opción *Nuevo*, aparece una base de datos vacía para que el usuario la cumplimente según sus propios datos de emisores.

Tanto las pantallas de diálogo que aparecen en el caso de añadir/modificar un fabricante como en el caso de añadir/modificar una tabla de datos son totalmente análogas a las ya vistas para el caso del mantenimiento de las bases de datos de *Accesorios*, *Válvulas* y *Tuberías*.

ANEXO VI. PÉRDIDAS EN BIFURCACIONES

El paquete de cálculo incorpora una opción para incluir automáticamente el cómputo de pérdidas singulares en las bifurcaciones y uniones. Se consideran exclusivamente enlaces de tres conductos. Los enlaces serán detectados a partir del grafo de la redⁱ y se supondrá por defecto la unión a 90°. Según los sentidos de circulación, los tramos de la unión y la magnitud relativa de los caudales bifurcados o reunidos, se establecen los correspondientes coeficientes de pérdidasⁱⁱ. Se supone un cociente por defecto entre el radio de redondeo, r , y el diámetro de la tubería, D , de valor $r/D=0,1$. Los elementos se ordenan de mayor a menor diámetro siguiendo un índice creciente extendiendo las formulaciones de referencia al caso en que las áreas o las velocidades no sean iguales. Al no estar incluido el nodo de intersección de la T en la formulación de referencia por aparecer únicamente dos ecuaciones de energía en ésta es preciso realizar la transformación que permita reasignar las pérdidas de la T a las tres ecuaciones de energía con que trabaja el programa. El procedimiento seguido consiste en asignar la pérdida asociada en la referencia con la velocidad de rama principal a la otra rama que aparece en la ecuación de la energía. Igualmente se asignará a la segunda el término de velocidad de la primera. Los diferentes casos quedan como sigue:

Caso 1:



$$\Delta H_{T12} = K_{s1} \cdot Q_1^2$$

$$K_{s1} = \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_2^2}{Q_1^2 \cdot D_2^4} \cdot \left(1.045 + 0.9 \cdot \frac{Q_3 \cdot D_2^2}{Q_2 \cdot D_3^2} - 0.723 \cdot \left(\frac{Q_3 \cdot D_2^2}{Q_2 \cdot D_3^2} \right)^2 \right) - \frac{1}{D_1^4} \right) \quad (A1)$$

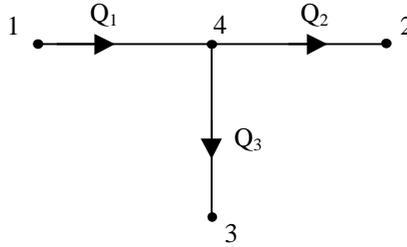
donde ΔH_{T12} hace referencia únicamente a las pérdidas singulares entre 1 y 2 debidas a la T y no incluye el resto de pérdidas que se producen en las conducciones 14 y 42.

ⁱⁱ Blevins, R. D. (1984). Applied Fluid Dynamics Handbook, pp 91. Van Nostrand Reinhold Company Inc.

$$\Delta H_{T32} = K_{S3} \cdot Q_3^2$$

$$K_{S3} = \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_2^2}{Q_3^2 \cdot D_2^4} \cdot \left(1.837 - 0.746 \cdot \frac{Q_1 \cdot D_2^2}{Q_2 \cdot D_1^2} - 0.939 \cdot \left(\frac{Q_1 \cdot D_2^2}{Q_2 \cdot D_1^2} \right)^2 \right) - \frac{1}{D_3^4} \right) \quad (\text{A2})$$

Caso 2:



$$\Delta H_{T12} = K_{S2} \cdot Q_2^2$$

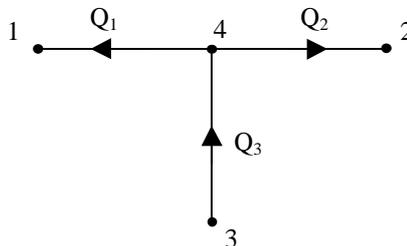
$$K_{S2} = \begin{cases} \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_1^2}{Q_2^2 \cdot D_1^4} \cdot \left(1.55 \cdot \left(0.22 - \frac{Q_3 \cdot D_1^2}{Q_1 \cdot D_3^2} \right)^2 - 1.03 \right) + \frac{1}{D_2^4} \right); & 0 \leq \frac{V_3}{V_1} \leq 0.22 \\ \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_1^2}{Q_2^2 \cdot D_1^4} \cdot \left(0.65 \cdot \left(\frac{Q_3 \cdot D_1^2}{Q_1 \cdot D_3^2} - 0.22 \right)^2 - 1.03 \right) + \frac{1}{D_2^4} \right); & 0.22 < \frac{V_3}{V_1} \leq 1 \end{cases} \quad (\text{A3})$$

donde los términos V denotan velocidades.

$$\Delta H_{T13} = K_{S3} \cdot Q_3^2$$

$$K_{S3} = \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_1^2}{Q_3^2 \cdot D_1^4} \cdot \left(-0.083 - 0.942 \cdot \frac{Q_3 \cdot D_1^2}{Q_1 \cdot D_3^2} + 0.894 \cdot \left(\frac{Q_3 \cdot D_1^2}{Q_1 \cdot D_3^2} \right)^2 \right) + \frac{1}{D_3^4} \right) \quad (\text{A4})$$

Caso 3:

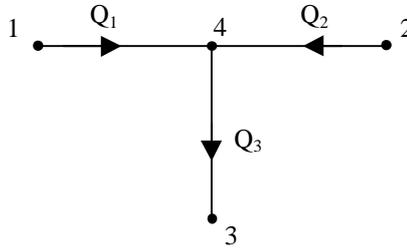


$$\Delta H_{T31} = K_{S1} \cdot Q_1^2$$

$$K_{S1} = \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_3^2}{Q_1^2 \cdot D_3^4} \cdot \left(-0.41 + 0.714 \cdot \frac{Q_1 \cdot D_3^2}{Q_3 \cdot D_1^2} - 0.467 \cdot \left(\frac{Q_1 \cdot D_3^2}{Q_3 \cdot D_1^2} \right)^2 \right) + \frac{1}{D_1^4} \right) \quad (\text{A5})$$

El cálculo de ΔH_{T32} se realizaría de manera similar, sustituyendo los subíndices 1 por los subíndices 2.

Caso 4:



$$\Delta H_{T13} = K_{S1} \cdot Q_1^2$$

$$K_{S1} = \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_3^2}{Q_1^2 \cdot D_3^4} \cdot \left(1.869 - 1.557 \cdot \frac{Q_2 \cdot D_3^2}{Q_3 \cdot D_2^2} + 1.171 \cdot \left(\frac{Q_2 \cdot D_3^2}{Q_3 \cdot D_2^2} \right)^2 \right) - \frac{1}{D_1^4} \right) \quad (A6)$$

El cálculo de ΔH_{T23} se realizaría de manera similar, sustituyendo los subíndices 1 por los subíndices 2.

ANEXO VII. VENTANA DE PARÁMETROS

La opción *Parámetros* del menú *Cálculos* permite modificar una serie de parámetros que controlan la inicialización del sistema, la convergencia, la relajación y el factor de condicionamiento de los elementos de baja resistencia. El cuadro de diálogo al seleccionar esta opción, tal como se comenta al hablar del menú *Cálculos* en el apartado 5.6 (pág. 164), es el de la FIGURA AVII 1.

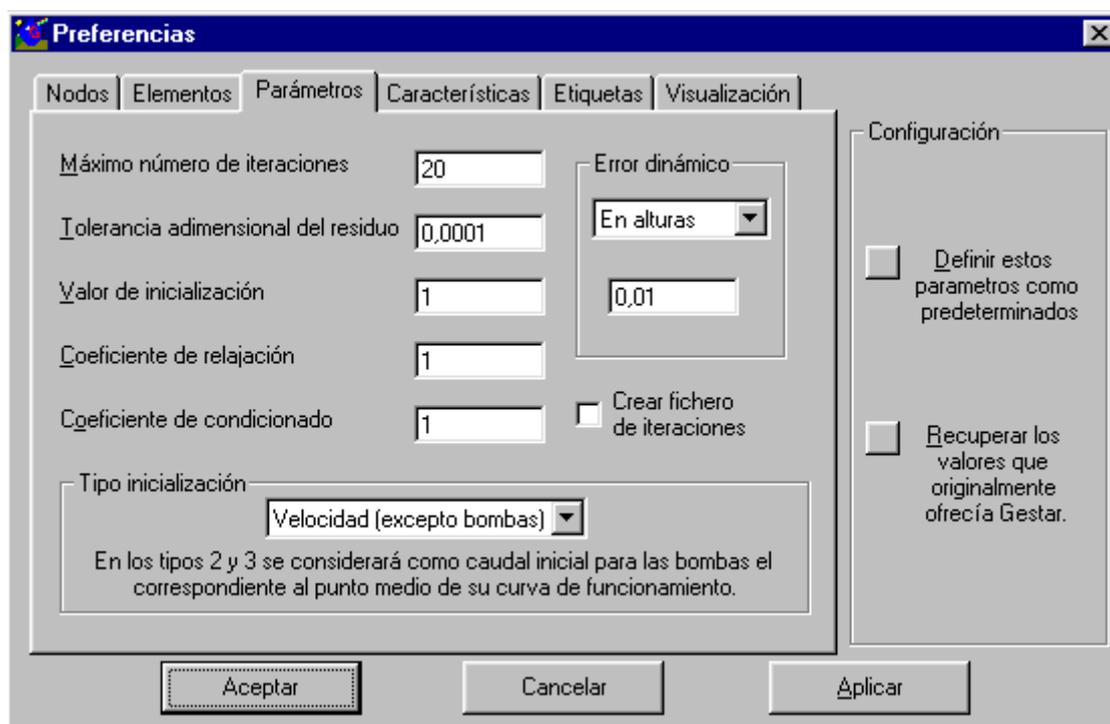


FIGURA AVII 1

Este bloque de parámetros viene configurado por defecto y para su modificación es recomendable poseer una cierta experiencia en el manejo del programa y en el cálculo de redes con objeto de modificarlo con seguridad y hacer un uso eficiente del mismo. Posiblemente, una vez optimizados definitivamente los valores convenientes de los parámetros reseñados, esta sección desaparezca de las próximas versiones. Los parámetros precisos son los siguientes:

- ◆ Máximo número de iteraciones.
- ◆ Tipo de error dinámico.

- ◆ Error dinámico.
- ◆ Tolerancia adimensional del residuo.
- ◆ Tipo de inicialización.
- ◆ Valor de inicialización.
- ◆ Coeficiente de relajación.
- ◆ Coeficiente de condicionado.
- ◆ Posibilidad de crear fichero de iteraciones

AVII.1 MÁXIMO NÚMERO DE ITERACIONES.

Este parámetro indica el máximo número de iteraciones que se permite realizar al programa para lograr la convergencia.

No conviene que sea elevado para evitar mucho tiempo de cálculo sin finalmente lograr la convergencia. Tampoco que sea excesivamente bajo como para que no permita encontrar la solución en redes de lenta convergencia. Normalmente se logra la convergencia con un número de iteraciones inferior a 10. Aún en redes muy extensas y con elementos patológicos, la convergencia se deberá lograr por debajo de las 20 iteraciones. De no alcanzarse en dicho margen, es muy probable que permitiendo un número mayor de iteraciones el proceso siga sin converger, y de hacerlo será sospechoso de la existencia de algún error en la definición de la red.

AVII.2 TIPO DE CONTROL DE LA CONVERGENCIA

La convergencia de los cálculos hacia la solución se controla mediante dos criterios de error, cuando los errores calculados son menores que los proporcionados por el usuario, el programa considera conseguida la convergencia. Estos dos errores son:

- ◆ A. *Error estático*: Definido como el cociente entre el residuo medio de las ecuaciones que forman el sistema nodal de cálculo y el caudal medio en los elementos.
- ◆ B. *Error dinámico*: b1) *de altura en nodos* o b2) *de caudal relativo en elementos*: Se establece en función de la máxima diferencia entre el valor de la altura en los nodos, o del caudal relativo en elementos, entre dos iteraciones consecutivas. **Tiene dimensiones de metros en el caso b1 y es adimensional en el b2.**

Una selección desacertada de los umbrales de error aceptados para la convergencia puede conducir a falsas conclusiones tanto por finalizar el proceso antes de conseguir una precisión suficiente, cuando el margen es muy amplio, como por

inducir una falsa falta de convergencia por haber establecido valores excesivamente restrictivos.

El seguimiento de los errores mostrados por el programa en cada iteración, como la activación de las opciones que muestran resultados parciales en los elementos, puede ayudar a juzgar si los criterios de error han sido dados correctamente.

Las opciones de tipo de control de convergencia son dos, y los errores que controlarán la convergencia según selección son:

AVII.3 TIPO DE INICIALIZACIÓN

Este parámetro hace referencia a la forma de inicializar el sistema de ecuaciones. Existen tres tipos de inicialización que se seleccionan de la lista Tipo inicialización:

- ◆ 1. **Nº de Reynolds:** Se inicializan todos los elementos con el número de Reynolds que se pide en valor de inicialización (sólo recomendable si no existen bombas en la red).
- ◆ 2. **Velocidad (excepto bombas):** Se inicializan todos los elementos con una velocidad de circulación estimada que se pedirá a continuación, salvo las bombas, que se inicializan en su punto medio de funcionamiento (opción recomendada).
- ◆ 3. **Nº de Reynolds (excepto bombas):** Se inicializan todos los elementos con el número de Reynolds que se pedirá a continuación, salvo las bombas, que se inicializan en su punto medio de funcionamiento.

AVII.4 VALOR DE INICIALIZACIÓN

Representa el valor con el que se van a inicializar los elementos. En función del tipo de inicialización seleccionado será el número de Reynolds o la velocidad (en m/s).

VALORES RECOMENDADOS:

Reynolds = 1000.

Velocidad = 1.0 m/s

En la mayoría de los casos el tipo de inicialización no influye en la convergencia final del proceso sino en el número de iteraciones necesarias para finalizar los cálculos, siendo la opción 2 la que generalmente presenta mejor comportamiento al respecto.

AVII.5 COEFICIENTE DE RELAJACIÓN

Este coeficiente se utiliza para relajar las oscilaciones en el método de Newton-Raphson utilizado en la resolución del sistema no lineal. Su valor teórico puede estar entre 0 y 1, aunque **se recomienda no utilizar valores por debajo de 0.5**. Para prevenir inestabilidades asociadas a una inicialización muy alejada del estado final, durante las tres primeras iteraciones, GESTAR relaja incondicionalmente con un factor 0.5. En un primer pase se recomienda no relajar. Si la solución del sistema no converge es conveniente relajar el método en sucesivos pases. Cuando el programa detecta una buena tasa de convergencia, suprime los factores de relajación que hubieran sido definidos.

AVII.6 PARÁMETRO DE CONDICIONADO

Este parámetro establece el umbral del coeficiente de conductividad

$$KC=1/ (Ks Q)$$

de los conductos de la red por encima del cual los elementos han de tomarse como de baja resistencia desensamblándolos de las ecuaciones nodales, ya que, de lo contrario su coeficiente de conductividad, de diferente orden de magnitud respecto al resto, producirá un mal condicionamiento de las matrices empleadas en el proceso de cálculo, comprometiendo o imposibilitando la convergencia de la red.

Cuando un elemento tiene baja resistencia o vehiculiza un caudal pequeño, de manera que KC supera el umbral establecido, la ecuación de comportamiento del elemento en cuestión se desensambla del sistema de ecuaciones nodales y se añade su ecuación al sistema general.

Conforme disminuimos este parámetro, el número de elementos considerados como de baja condición aumenta y, en consecuencia, el tiempo de cálculo de cada iteración, puesto que se resuelve un sistema de ecuaciones mayor. Se recomienda en principio un valor del orden de 1 a 0.1 m² s⁻¹. Si se establece un valor nulo del parámetro de condicionado, todos los elementos de la red aparecerán desensamblados.

ANEXO VIII. CONEXIÓN CON AUTOCAD

GESTAR puede intercambiar información con *AutoCAD* (versiones 2000, 2000i y *Map 2000*) a través de *GestarCAD*.

El programa *GestarCAD* reúne todas las características de *GESTAR*, pero, a diferencia de éste, utiliza como entorno gráfico el proporcionado por *AutoCAD*.

GestarCAD y *GESTAR* utilizan el mismo formato en los ficheros de red (*.red), por lo que las redes pueden abrirse indistintamente desde cualquiera de las dos aplicaciones.

Se permite la descarga de *GestarCAD* en <http://gestar1.unizar.es/inicio.htm>.

ANEXO IX. ESTRUCTURA DE LAS BASES DE DATOS DE REDES DE GESTAR

AIX.1 INTRODUCCIÓN

GESTAR ofrece la posibilidad de almacenar las redes en formato de bases de datos de tipo *ACCESS*. En el apartado 7.1.1 pg. 208 se ofrece la información relativa a la creación y posibilidades de utilización de las redes guardadas en este formato. En este anexo se ofrece la estructura de las bases de datos que genera *GESTAR* y un breve comentario descriptivo de las tablas y los campos en los que se almacena la información de las redes.

Para guardar una red en formato de base de datos, hay que utilizar el comando *Fichero/ Exportar/ Base de Datos Access*, presente en el menú principal de *GESTAR*. La creación de este fichero, con extensión “mdb”, permite la utilización de toda la potencia de *ACCESS* para la manipulación, la gestión y el análisis de los datos y los resultados de una red.

Las redes en formato de bases de datos pueden ser abiertas por la aplicación *GESTAR* mediante el comando *Fichero/ Importar/ Base de Datos ACCESS*.

AIX.2 DESCRIPCIÓN DE LAS TABLAS DE LAS BASES DE DATOS DE REDES.

Cada base de datos de redes creada a través de *GESTAR* contiene un total de 16 tablas, en las que se distribuye toda la información de la red, así como los resultados procedentes de la simulación hidráulica en el caso de que ésta se hubiera producido. Éstas son las tablas:

- ◆ **Accesorios.** Información de los accesorios asociados a los *Elementos Conducción* o a los tramos asociados a los *Nodos Emisores*.
- ◆ **Balsas.** Información de *Nodos Balsa*.
- ◆ **Bombas.** Información de *Elementos Bomba*.
- ◆ **Conducciones.** Información de *Elementos Conducción*.

- ◆ **Consumo conocido.** Información de *Nodos de Consumo Conocido*.
- ◆ **Doble condición.** Información de *Nodos con Doble Condición*.
- ◆ **Elesk.** Información de *Elementos sin Característica Pasiva*.
- ◆ **Embalses.** Información de *Nodos Embalse*.
- ◆ **Emisores.** Información de *Nodos Emisores*.
- ◆ **Hidrantes.** Información de *Nodos Hidrantes Reguladores*.
- ◆ **Nodos de unión.** Información de *Nodos de Unión*.
- ◆ **Pérdidas.** Listado de todas las pérdidas singulares existentes en la red.
- ◆ **Presión regulada.** Información de *Nodos de Presión Regulada*.
- ◆ **Sin condición.** Información de *Nodos sin Condición*.
- ◆ **Válvulas.** Información de *Elementos Válvula*.
- ◆ **Vis.** Información de los parámetros de visualización de la red: tamaño de mapa y parte visible de éste.

AIX.3 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS DE LAS BASES DE DATOS DE REDES.

Brevemente se describen todos y cada uno de los campos de las 16 tablas de las redes de *GESTAR* en formato de base de datos.

AIX.1.1 TABLA ACCESORIOS.

- ◆ **Tipo.** Tipo de accesorio (“Codo anguloso”, “Codo radio grande”, “Codo radio mediano”, “Codo radio pequeño”, “Entrada brusca”, “Entrada recta”, “Reducciones”, “Válvula retención”)
- ◆ **Parámetro.** Parámetro característico del tipo de accesorio existente.
- ◆ **Valor.** Valor del parámetro del campo *Parámetro*.
- ◆ **Num.** Número de accesorios existentes.
- ◆ **Ks.** Parámetro k de la expresión de pérdidas $H=k \cdot (v^2/2 \cdot g)$ del accesorio.
- ◆ **Elemento.** Identificativo del elemento al que se asocia el accesorio.

AIX.1.2 TABLA BALSAS.

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **X.** Coordenada X respecto al origen (metros).
- ◆ **Y.** Coordenada Y respecto al origen (metros).
- ◆ **Cota.** Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- ◆ **Sección.** Superficie de la lámina libre de la balsa en su nivel máximo (m^2).
- ◆ **Pendiente.** Ángulo que forman las paredes de la balsa con la horizontal (grados; mayor que 0° y menor que 90°)
- ◆ **NivMax.** Nivel máximo de fluido admisible en la balsa (m).
- ◆ **NivMin.** Nivel mínimo de fluido admisible en la balsa (m).
- ◆ **NivInicial.** Nivel inicial de fluido en la balsa con que se comenzará la simulación en período extendido (m).
- ◆ **NivActual.** Nivel actual de fluido en la balsa en el instante actual de la simulación en período extendido (m).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ◆ **ConsumoCalc.** Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m^3/s).

AIX.1.3 TABLA BOMBAS.

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **Nodo inicial.** Identificativo del nodo inicial.
- ◆ **Nodo final.** Identificativo del nodo final.
- ◆ **Diámetro.** Diámetro de la brida de aspiración (m).
- ◆ **A.** Constante A de la ecuación de comportamiento de la bomba $H(Q)=A \cdot Q^2+B \cdot Q+C$ (A ha de ser menor que cero; Q en m^3/s ; H en m).

- ◆ **B.** Constante B de la ecuación de comportamiento de la bomba $H(Q)=A \cdot Q^2+B \cdot Q+C$ (B ha de ser menor o igual que cero; Q en m^3/s ; H en m).
- ◆ **C.** Constante B de la ecuación de comportamiento de la bomba $H(Q)=A \cdot Q^2+B \cdot Q+C$ (C ha de ser mayor que cero; Q en m^3/s ; H en m).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ◆ **Caudal.** Valor de caudal procedente de la simulación hidráulica (m^3/s).
- ◆ **Velocidad.** Valor de velocidad procedente de la simulación hidráulica de la red (m/s).
- ◆ **PérdidaCarga.** Valor de pérdida de carga procedente de la simulación hidráulica (m).

AIX.1.4 TABLA CONDUCCIONES.

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **Nodo inicial.** Identificativo del nodo inicial.
- ◆ **Nodo final.** Identificativo del nodo final.
- ◆ **Longitud.** Longitud de la conducción(m).
- ◆ **Diámetro interior.** Diámetro interior (m).
- ◆ **Diámetro nominal.** Diámetro nominal (m ; -1 si no se dispone)
- ◆ **Fabricante.** Nombre del Fabricante de la conducción (“<Ninguno>” si no se dispone).
- ◆ **Material.** Material de la conducción(“<Ninguno>” si no se dispone).
- ◆ **Timbraje.** Timbraje de la conducción (“<Ninguno>” si no se dispone).
- ◆ **Rugosidad.** Rugosidad interna de la conducción (las unidades dependen de la formulación de pérdidas).
- ◆ **Cerrado.** Valor que indica si la conducción está cerrada (1) o abierta (0).

- ◆ **ValvAntirretorno.** Valor que indica la existencia de una válvula antirretorno (1: existe; 0: no existe).
- ◆ **TipoVálvula.** Tipo de válvula presente en la conducción (opciones: “<Ninguna>”, “Asiento”, “Bola”, “Compuerta” y “Mariposa”).
- ◆ **PorcentajeCierre.** Porcentaje de cierre de la válvula especificada en el campo *TipoVálvula* (ha de ser menor que 100).
- ◆ **KsVálvula.** Coeficiente K_s asociado a la válvula especificada en el campo *TipoVálvula* con el porcentaje de cierre especificado en el campo *PorcentajeCierre*. Corresponde al coeficiente de la expresión de pérdidas $H(Q)=K_s \cdot Q^2$.
- ◆ **NumAccesorios.** Número total de accesorios asociados a la conducción. El tipo y las características de los accesorios se especifican en la tabla *Accesorios*.
- ◆ **NumPérdidas.** Número total de pérdidas asociadas a la conducción. El tipo y las características de las pérdidas se especifican en la tabla *Pérdidas*.
- ◆ **GrupoDiseñoInverso.** Valor que indica la pertenencia de la conducción a grupos de diseño inverso (0: no pertenece; n: pertenece al grupo n de diámetro desconocido; -n: pertenece al grupo n de rugosidad desconocida).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ◆ **CaudalCalc.** Valor de caudal procedente de la simulación hidráulica (m^3/s).
- ◆ **Velocidad.** Valor de velocidad procedente de la simulación hidráulica de la red (m/s).
- ◆ **PérdidaCarga.** Valor de pérdida de carga procedente de la simulación hidráulica (m).

AIX.1.5 TABLA CONSUMO CONOCIDO.

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **X.** Coordenada X respecto al origen (metros).
- ◆ **Y.** Coordenada Y respecto al origen (metros).
- ◆ **Cota.** Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).

- ◆ **Dotación.** Valor de la dotación de caudal (m^3/s).
- ◆ **Demanda.** Valor de la demanda real de caudal (m^3/s ; ha de ser menor o igual que el valor del campo *Dotación*). Cuando la demanda es nula, el nodo está cerrado.
- ◆ **DemandaAnterior.** Valor de la demanda de caudal cuando se abra un nodo de consumo que está cerrado (m^3/s).
- ◆ **SuperfRegada.** Área que ocupa la parcela abastecida por el hidrante (ha).
- ◆ **CaudalFicticio.** Caudal ficticio continuo suponiendo una aportación ininterrumpida de caudal a la parcela a lo largo de todo el día (litros/(s·ha)).
- ◆ **Rendimiento.** Rendimiento operativo. Cociente entre las duraciones teórica y real de la campaña de riego (entre 0 y 1; adimensional).
- ◆ **GradosLibertad.** Inverso de la probabilidad de que el hidrante está abierto.
- ◆ **TipoSorteo.** Valor que indica el tipo de dato que caracteriza al hidrante (0: dotación; 1: grado de libertad).
- ◆ **TipoProb.** Valor que indica el estado del hidrante (1: abierto incondicionalmente; -1 cerrado incondicionalmente; 0: sometible a sorteo).
- ◆ **Probabilidad.** Probabilidad de apertura del hidrante.
- ◆ **Regulación.** Valor que indica la existencia de un regulador de presión en el hidrante (0: no existe; 1: existe).
- ◆ **PresiónConsigna.** Presión de consigna del regulador de presión (m).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ◆ **AltPiezCalc.** Valor de altura piezométrica procedente de la simulación hidráulica (m).

AIX.1.6 TABLA DOBLE CONDICIÓN.

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **X.** Coordenada X respecto al origen (metros).
- ◆ **Y.** Coordenada Y respecto al origen (metros).

- ◆ **Cota.** Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- ◆ **Dotación.** Valor de la dotación de caudal (m^3/s).
- ◆ **Demanda.** Valor de la demanda real de caudal (m^3/s ; ha de ser menor o igual que el valor del campo *Dotación*).
- ◆ **Altura de Presión.** Valor de la presión en el nodo (m).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).

AIX.1.7 TABLA *ELESK*.

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **Nodo inicial.** Identificativo del nodo inicial.
- ◆ **Nodo final.** Identificativo del nodo final.
- ◆ **Tipo.** Tipo de *Elemento Sin Característica Pasiva* (1: K_s desconocida; 2: diámetro desconocido; 3: longitud desconocida; 4: rugosidad desconocida).
- ◆ **Diámetro.** Diámetro interior (m).
- ◆ **Longitud.** Longitud del *Elemento Sin Característica Pasiva* (m).
- ◆ **Rugosidad.** Rugosidad interna del *Elemento Sin Característica Pasiva* (las unidades dependen de la formulación de pérdidas).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ◆ **Caudal.** Valor de caudal procedente de la simulación hidráulica (m^3/s).
- ◆ **Velocidad.** Valor de velocidad procedente de la simulación hidráulica de la red (m/s).
- ◆ **PérdidaCarga.** Valor de pérdida de carga procedente de la simulación hidráulica (m).
- ◆ **Estado.** Valor procedente de la simulación hidráulica que indica si el *Elemento Sin Característica Pasiva* actúa como elemento activo(1) o pasivo (0).

AIX.1.8 TABLA *EMBALSES*.

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **X.** Coordenada X respecto al origen (metros).
- ◆ **Y.** Coordenada Y respecto al origen (metros).
- ◆ **Lámina.** Cota de la lámina libre de agua respecto a una referencia común de alturas (metros).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ◆ **ConsumoCalc.** Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m^3/s).

AIX.1.9 TABLA *EMISORES*.

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **X.** Coordenada X respecto al origen (metros).
- ◆ **Y.** Coordenada Y respecto al origen (metros).
- ◆ **Cota.** Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- ◆ **Fab Emisor.** Nombre del Fabricante del emisor (en blanco si no se dispone).
- ◆ **Tipo Emisor.** Modelo del emisor (en blanco si no se dispone).
- ◆ **Ks Emisor.** Coeficiente K_s de la expresión de pérdidas del emisor $H(Q)=K_s \cdot Q^N$.
- ◆ **N Emisor.** Coeficiente N de la expresión de pérdidas del emisor $H(Q)=K_s \cdot Q^N$.
- ◆ **Nodo Origen.** Identificativo del nodo del cual parte el emisor.
- ◆ **Longitud.** Longitud de la conducción asociada al emisor (m).
- ◆ **Diámetro Nominal.** Diámetro nominal de la conducción asociada al emisor (m; -1 si no se dispone).
- ◆ **Diámetro Interior.** Diámetro interior de la conducción asociada al emisor(m).

- ◆ **Fab Tubo.** Nombre del Fabricante de la conducción asociada al emisor (“<Ninguno>” si no se dispone).
- ◆ **Material Tubo.** Material de la conducción asociada al emisor (“<Ninguno>” si no se dispone).
- ◆ **Timbraje Tubo.** Timbraje de la conducción asociada al emisor (“<Ninguno>” si no se dispone).
- ◆ **Rugosidad Tubo.** Rugosidad interna de la conducción asociada al emisor (las unidades dependen de la formulación de pérdidas).
- ◆ **Cerrado.** Valor que indica si la conducción asociada al emisor está cerrada (1) o abierta (0).
- ◆ **Valv Antirretorno.** Valor que indica la existencia de una válvula antirretorno (1: existe; 0: no existe).
- ◆ **Tipo Válvula.** Tipo de válvula presente en la conducción asociada al emisor (opciones: “<Ninguna>”, “Asiento”, “Bola”, “Compuerta” y “Mariposa”).
- ◆ **Porcentaje Cierre.** Porcentaje de cierre de la válvula especificada en el campo *Tipo Válvula* (ha de ser menor que 100).
- ◆ **Ks Válvula.** *Coficiente Ks* asociado a la válvula especificada en el campo *Tipo Válvula* con el porcentaje de cierre especificado en el campo *Porcentaje Cierre*. Corresponde al coeficiente de la expresión de pérdidas $H(Q)=K_s \cdot Q^2$.
- ◆ **Num Accesorios.** Número total de accesorios en la conducción asociada al emisor. El tipo y las características de los accesorios se especifican en la tabla *Accesorios*.
- ◆ **Num Pérdidas.** Número total de pérdidas en la conducción asociada al emisor. El tipo y las características de las pérdidas se especifican en la tabla *Pérdidas*.
- ◆ **Caudal.** Valor de caudal procedente de la simulación hidráulica (m³/s).
- ◆ **Velocidad.** Valor de velocidad procedente de la simulación hidráulica de la red (m/s).
- ◆ **Pérdida Carga.** Valor de pérdida de carga procedente de la simulación hidráulica (m).
- ◆ **Consumo Calc.** Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m³/s).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).

AIX.1.10 TABLA *HIDRANTES*.

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **X.** Coordenada X respecto al origen (metros).
- ◆ **Y.** Coordenada Y respecto al origen (metros).
- ◆ **Cota.** Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- ◆ **Dotación.** Valor de la dotación de caudal (m^3/s).
- ◆ **Demanda.** Valor de la demanda real de caudal (m^3/s ; ha de ser menor o igual que el valor del campo *Dotación*). Cuando la demanda es nula, el nodo está cerrado.
- ◆ **DemandaAnterior.** Valor de la demanda de caudal cuando se abra un nodo de consumo que está cerrado (m^3/s).
- ◆ **SuperficieRegada.** Área que ocupa la parcela abastecida por el hidrante (ha).
- ◆ **CaudalFicticio.** Caudal ficticio continuo suponiendo una aportación ininterrumpida de caudal a la parcela a lo largo de todo el día (litros/(s·ha)).
- ◆ **Rendimiento.** Rendimiento operativo. Cociente entre las duraciones teórica y real de la campaña de riego (entre 0 y 1; adimensional).
- ◆ **GradosLibertad.** Inverso de la probabilidad de que el hidrante está abierto.
- ◆ **TipoSorteo.** Valor que indica el tipo de dato que caracteriza al hidrante (0: dotación; 1: grado de libertad).
- ◆ **TipoProb.** Valor que indica el estado del hidrante (1: abierto incondicionalmente; -1 cerrado incondicionalmente; 0: sometible a sorteo).
- ◆ **Probabilidad.** Probabilidad de apertura del hidrante.
- ◆ **Regulación.** Valor que indica la existencia de un regulador de presión en el hidrante (0: no existe; 1: existe).
- ◆ **PresiónConsigna.** Presión de consigna del regulador de presión (m).
- ◆ **Ks.** Coeficiente K_s de la ecuación de pérdidas $H(Q)=K_s \cdot Q^2$ correspondiente al hidrante cuando se encuentra completamente abierto (s^2/m^5).
- ◆ **N.** Parámetro N de la ecuación de pérdidas $H(Q)=K_s \cdot Q^N$ de la red de la parcela (adimensional).
- ◆ **KsParc.** Parámetro K_s de la ecuación de pérdidas $H(Q)=K_s \cdot Q^N$ de la red de la parcela (s^2/m^5).

- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ◆ **ConsumoCalc.** Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m^3/s).
- ◆ **AltPiezCalc.** Valor de altura piezométrica procedente de la simulación hidráulica (m).

AIX.1.11 TABLA NODOS DE UNIÓN.

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **X.** Coordenada X respecto al origen (metros).
- ◆ **Y.** Coordenada Y respecto al origen (metros).
- ◆ **Cota.** Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ◆ **AlturaPiezomCalc.** Valor de altura piezométrica procedente de la simulación hidráulica (m).

AIX.1.12 TABLA PÉRDIDAS.

- ◆ **Num.** Número de pérdidas existente.
- ◆ **Ks.** Parámetro K_s de la ecuación de pérdidas $H(Q)=K_s \cdot Q^N$.
- ◆ **Nexp.** Parámetro N de la ecuación de pérdidas $H(Q)=K_s \cdot Q^N$.
- ◆ **Elemento.** Identificativo de la conducción a la que se asocia la pérdida.

AIX.1.13 TABLA *PRESIÓN REGULADA.*

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **X.** Coordenada X respecto al origen (metros).
- ◆ **Y.** Coordenada Y respecto al origen (metros).
- ◆ **Cota.** Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- ◆ **AlturaPresión.** Valor de la presión en el nodo (m).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ◆ **ConsumoCalc.** Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m^3/s).

AIX.1.14 TABLA *SIN CONDICIÓN.*

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- ◆ **X.** Coordenada X respecto al origen (metros).
- ◆ **Y.** Coordenada Y respecto al origen (metros).
- ◆ **Cota.** Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ◆ **ConsumoCalc.** Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m^3/s).
- ◆ **AltPiezCalc.** Valor de altura piezométrica procedente de la simulación hidráulica (m).

AIX.1.15 TABLA *VÁLVULAS.*

- ◆ **Id.** Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).

- ◆ **Nodo inicial.** Identificativo del nodo inicial.
- ◆ **Nodo final.** Identificativo del nodo final.
- ◆ **Tipo.** Valor que indica el tipo de válvula (0: reductora de presión; 1: sostenedora de presión; 2: limitadora de caudal)
- ◆ **Diámetro.** Diámetro de la válvula (m).
- ◆ **Presión consigna.** Presión de consigna de las válvulas reductoras y sostenedoras (m).
- ◆ **Caudal límite.** Caudal de consigna de la válvula limitadora de caudal (m^3/s)
- ◆ **Ks.** Valor del coeficiente K_s de la ecuación de pérdidas $H(Q)=K_s \cdot Q^2$ de la válvula cuando se encuentra completamente abierta (s^2/m).
- ◆ **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ◆ **Caudal.** Valor de caudal procedente de la simulación hidráulica (m^3/s).
- ◆ **Velocidad.** Valor de velocidad procedente de la simulación hidráulica de la red (m/s).
- ◆ **PérdidaCarga.** Valor de pérdida de carga procedente de la simulación hidráulica (m).
- ◆ **Estado.** Estado de la válvula (1: regulando; 2: pasiva; 3: cerrada).

AIX.1.16 TABLA VIS.

- ◆ **MapXMax.** Valor máximo en la coordenada X del mapa en el que se dibuja la red (m).
- ◆ **MapYMax.** Valor máximo en la coordenada Y del mapa en el que se dibuja la red (m).
- ◆ **Xvis.** Valor en la coordenada X de la porción del mapa de visualización de la red (m).
- ◆ **Yvis.** Valor en la coordenada Y de la porción del mapa de visualización de la red (m).

- ◆ **Scr.** Porcentaje de visualización del mapa respecto del tamaño máximo del mapa (entre 1% y 100%)
- ◆ **A.** Coordenada Y del mapa respecto al formulario principal (m).
- ◆ **B.** Longitud en la coordenada X del mapa (m).
- ◆ **C.** Coordenada X del mapa respecto al formulario principal (m).
- ◆ **D.** Longitud en la coordenada X del mapa (m).
- ◆ **E.** Valor del scroll vertical del mapa.
- ◆ **G.** Valor del scroll horizontal del mapa.

ANEXO X. GOTEROS

Antes de comenzar a mostrar qué es concretamente lo que Gestar es capaz de hacer en la materia de los ramales de Goteo, es necesario dar al menos unas pinceladas a lo que ha sido y es el riego por goteo. Así como introducirnos un poco en las características técnicas y teóricas de esta modalidad de riego.

AX.1 Introducción

AX.1.1 Definición

Las definiciones clásicas de riego hablan de un medio de aplicar agua artificialmente a los cultivos para complementar la acción de la lluvia. El estudio de los parámetros que intervendrían en el riego y de las relaciones suelo-planta-agua, llevaron a la conclusión de que la definición era demasiado general, pues había, además, que poner al agua a disposición de la planta para que esta pudiera aprovecharla mejor.

De esta forma surgió una definición más concreta del riego, como un medio artificial de aplicar el agua a la zona radicular de los cultivos de forma que ésta pudiera ser utilizada al máximo.

En esta línea más concreta se definió posteriormente el riego por goteo como aquel sistema que para conseguir mantener el agua en la zona radicular en las condiciones de utilización más favorables para la planta, aplica el agua gota a gota. De esta forma el agua es conducida por medio de conductos cerrados desde el punto de toma hasta la misma planta, a la que se aplica por medio de dispositivos que se conocen como goteadores, goteros o emisores.

AX.1.2 Características del riego por goteo.

El riego por goteo supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá, por tanto, a una mayor productividad. Comporta un cambio profundo dentro de los

sistemas de aplicación de agua al suelo que incidirá también en las prácticas culturales a realizar, hasta el punto que puede considerarse como una nueva técnica de producción agrícola.

Sus características principales son:

-El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical. En esto difiere sustancialmente del riego tradicional, en el que predominan las fuerzas de gravedad y, por tanto, el movimiento vertical.

-No se moja todo el suelo, sino sólo parte del mismo, que varía con las características del suelo, el caudal del gotero y el tiempo de aplicación. En esta parte húmeda es en la que la planta concentrará sus raíces y de la que se alimentará.

-Al existir zonas secas no exploradas por las raíces y zonas húmedas, puede considerarse en cierto modo un cultivo en fajas o surcos, pero con un sistema radical inferior al normal. Esto significa que sobre una faja de goteo habrá más plantas que en una de riego tradicional, por lo que se trata, en definitiva, de un cultivo intensivo, que requerirá, por tanto, un abonado adecuado para responder a las extracciones de las cosechas.

-El mantenimiento de un nivel óptimo de humedad en el suelo implica una baja tensión de agua en el mismo. El nivel de humedad que se mantiene en el suelo es inferior a la capacidad de campo, lo cual es muy difícil conseguir con otros sistemas de riego, pues habría que regar diariamente y se producirían encharcamientos y asfixia radicular.

-Requiere un abonado frecuente, pues como consecuencia del movimiento permanente del agua en el bulbo puede producirse un lavado excesivo de nutrientes.

AX.2 Descripción del sistema

AX.2.1 Partes de que consta.

Una instalación de riego por goteo consta en esencia, de los siguientes elementos:

Sistema de filtrado.

Equipo de fertilización.

Tuberías que conducen el agua desde el cabezal hasta las proximidades de la planta.

Goterros.

Accesorios.

Dispositivos de regulación.

Dispositivos de control.

Los dos primeros elementos, junto con los accesorios y válvulas correspondientes, constituyen lo que se conoce como cabezal, y que es, junto con el gotero, la parte más importante del sistema, ya que su calidad dependerá en gran parte el que se riegue bien o mal.

AX.2.2 Sistema de filtrado.

El principal problema que se plantea en los goteros es el de su obstrucción; los factores que intervienen en ella son: 1) calidad del agua de riego; 2) filtrado o tratamiento empleados para limpiar el agua; 3) sensibilidad de los goteros a al tupición, y 4) tipo de abonos utilizados.

En su sentido más amplio, el sistema de filtrado está constituido por el conjunto de tratamientos u operaciones que se hacen para limpiar el agua de partículas extrañas. Comprende, por tanto, mallas, depósitos de sedimentación, filtros porosos, depósitos de arena y grava, separadores centrífugos, desarenadores, pantallas de varios tamaños de orificio y diversos tipos de tratamientos químicos.

AX.2.3 Equipo de fertilización.

Una de las ventajas que posee el riego por goteo es la posibilidad de abonar con el agua, lo que produce un importante ahorro de mano de obra. La mezcla de los nutrientes con el agua se realiza en estos equipos.

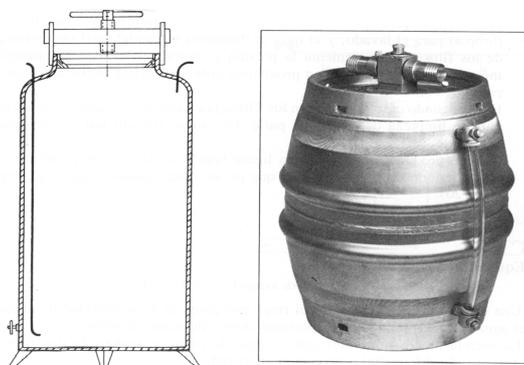


FIGURA AX. 1 Equipos de mezcla de nutrientes

AX.2.4 Tuberías

Las tuberías que se utilizan en las instalaciones de riego por goteo son fundamentalmente de PVC y PE y, últimamente, polopropileno y polibutileno, recurriéndose en grandes instalaciones al fibrocemento sólo para la red principal.

El PVC es rígido y es más barato que el polietileno para diámetros de 50 mm y superiores. Mientras que el PE es flexible y es el material más barato para diámetros inferiores a 50 mm.

AX.2.5 Accesorios.

Es el conjunto de piezas de PVC, hierro galvanizado, polietileno y otros materiales que se utilizan en una instalación de riego por goteo para unir tuberías, de igual o distinto diámetro, hacer derivaciones, conectar válvulas, salvar obstáculos del terreno...

Podemos citar como más importantes los manguitos, tes, codos, cruces, anillas, niples, empates universales, tuercas, etc.



FIGURA AX. 2 Accesorios

AX.2.6 Dispositivos de control.

Es el conjunto de elementos que permite regular el funcionamiento de la instalación y contribuye, por tanto, a obtener el máximo rendimiento de la misma. Comprende desde los manómetros para comprobar las presiones hasta los tensiómetros para comprobar la humedad del suelo.

AX.2.7 Elementos de seguridad.

Como son:

- ◆ **Purgadores y ventosas:** que permiten la salida de aire en aquellos puntos especiales de la instalación en que puede acumularse, como codos, partes elevadas de tuberías, filtros... y en el caso de las ventosas, también la entrada de aire o el llenado y vaciado de tuberías o depósitos. Es importante su colocación, pues la no eliminación del aire distorsionaría la presión y caudales de funcionamiento de la instalación y, en ocasiones, provocaría la rotura de la misma.
- ◆ **Válvulas de seguridad:** Permiten la salida del líquido de la instalación cuando se producen fuertes presiones, con lo que se evita la posible rotura de piezas.
- ◆ **Válvulas de retención:** Se colocan intercaladas en la tubería y tienen una doble misión: romper la columna de agua y reducir el golpe de ariete que se produce al abrir o cerrar una instalación, y evitar el retroceso del agua, que puede ser causa de contaminación de la fuente de suministro de agua.

AX.3 Goteros

AX.3.1 Características que debe reunir un gotero.

El gotero es el elemento encargado de la aplicación del agua al cultivo y, por tanto, la parte más importante de la instalación.

Las dos principales características que debe reunir un gotero son:

1. Caudal pequeño pero constante y poco sensible a las variaciones de presión.
2. Orificio suficientemente grande para evitar obstrucciones y colmatado.

Los caudales más corrientes de los goteros oscilan entre 2 y 10 l/h para unas presiones de trabajo variables entre 10 y 20 metros. Aunque hay goteros que trabajan a presiones inferiores a 10 m no es aconsejable su utilización, en particular en terrenos algo accidentados. Los simples altibajos del terreno y las pérdidas de carga a lo largo de los ramales de riego son suficientes para que se pierda fácilmente la uniformidad en la distribución del agua.

La sensibilidad a las variaciones de presión está relacionada con el régimen de funcionamiento hidráulico del gotero, siendo los que trabajan en régimen laminar más sensibles que los que lo hacen en régimen turbulento y éstos últimos más que los autorregulables.

Para conseguir caudales pequeños se precisan orificios de salida también pequeños; por tanto la fabricación debe ser precisa. Pequeñas diferencias en el diámetro pueden dar lugar a importantes variaciones en el caudal.

Los diámetros varían de 0,3 a 1 mm e incluso los hay de 5,5 mm. Cuanto mayores son los diámetros menor es el problema de las obstrucciones, pero el caudal también será mayor.

Son, por tanto, dos características que se contraponen, y la forma más o menos ingeniosa de resolverlas a dado lugar a la gran variedad de goteros que existen actualmente en el mercado.

Los goteros, se pueden clasificar según muchos criterios. A continuación se hace una pequeña clasificación basada en la forma en que están integrados en la manguera o tubo que transporta el fluido:

- ◆ **Goteros interlínea.** Son aquellos que se instalan cortando la tubería e insertando el gotero. El agua circula por el interior del gotero, que forma parte de la

conducción, por lo que existen modelos adecuados a los distintos diámetros de tubería. La inserción manual de estos goteros es costosa, por lo que es frecuente que los fabricantes los suministren ya insertados a espaciamientos constantes, que suelen ser del orden de 30-90 cm, aunque, bajo pedido, se puede variar el espaciamiento.

♦ **Goteros pinchados.** Son goteros que se instalan en la tubería en un orificio realizado con un sacabocados. Se pueden instalar en el campo, colocándolos en su emplazamiento definitivo. Estos goteros se pueden colocar en tuberías de distintos diámetros.

♦ **Goteros integrados.** Son goteros que se implantan en una tubería de polietileno durante el proceso de fabricación de la misma, con distintos emplazamientos. En ocasiones los diámetros de las tuberías con goteros integrados son diferentes de los usuales, lo que obliga a utilizar elementos de conexión especiales.

AX.3.2 Régimen de funcionamiento.

Como ya es conocido, lo que caracteriza el régimen hidráulico de un sistema es el número de Reynolds, que viene definido por:

$$R_e = V F / 1000u = 4Q / 1000D F u$$

Siendo:

V = velocidad del agua, en m/seg

D = diámetro de la sección de paso, en mm.

u = viscosidad cinemática del agua, en m²/seg (= a 10⁻⁶ a 20 °C).

Q = Caudal, en m³/seg.

De acuerdo con el valor de R_e puede ocurrir:

1. Para R_e < 2.000 el régimen se conoce como laminar, la pérdida de carga es de la forma J=f/ R_e; por tanto, no le afecta la rugosidad, pero sí la

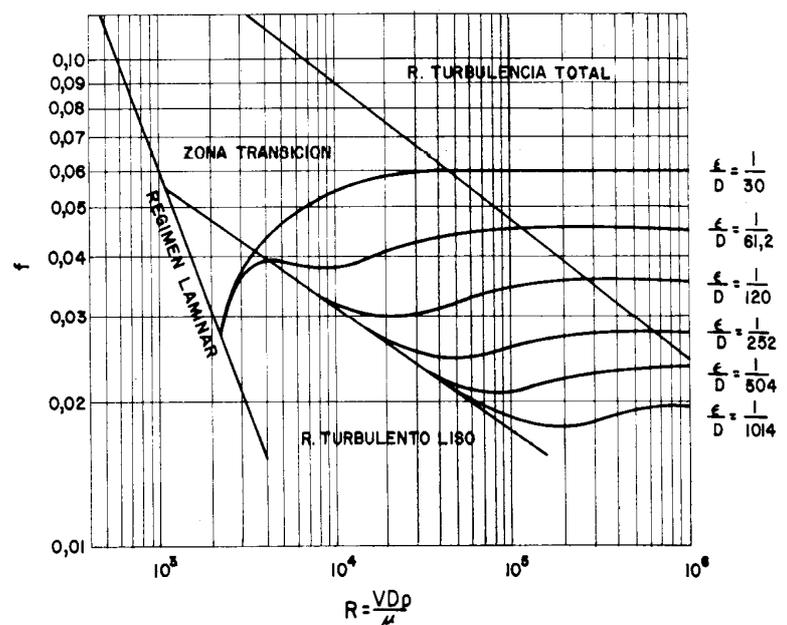


FIGURA AX. 3 Régimen hidráulico

temperatura.

2. $2.000 < R_e < 4.000$, el régimen es inestable, es decir, unas veces laminar y otras turbulento; la pérdida de carga J varía con las obstrucciones, incrustaciones... y de una forma totalmente imprevisible.
3. $4.000 < R_e < 10.000$, el régimen es parcialmente turbulento o turbulento liso, J depende de la rugosidad pero no de la temperatura.
4. $R_e > 10.000$, el régimen es totalmente turbulento y J depende de la rugosidad pero es independiente de R_e .

Si a partir del número de Reynolds calculamos la sección para varios caudales en régimen laminar y turbulento, obtenemos:

Q (l/h)	Sección en mm.	
	($R_e < 2.000$)	($R_e > 4.000$)
2	> 0,35	< 0,17
4	> 0,70	< 0,35
8	> 1,40	< 0,52

FIGURA AX. 4 Sección según el número de Reynolds

Es decir, los goteros turbulentos tienen menor sección y, por tanto, en principio, son más fáciles de tupidar que los laminares. Sin embargo, de la misma fórmula de Reynolds se obtiene que la velocidad del agua en los goteros turbulentos es muy superior a los laminares. Esta velocidad pequeña provoca la sedimentación en los conductos laminares, superando este inconveniente con mucho al tamaño del orificio. Debe buscarse, entonces, que el gotero funcione en régimen turbulento.

La pérdida de carga varía por tanto fundamentalmente con el régimen de funcionamiento.

Si partimos de la ecuación general de Darcy-Weisbach, que nos da dichas pérdidas de carga:

$$H = f * LV^2 / (2gD) = 8fLQ^2 / (2gD^5)$$

En donde :

H = Altura de trabajo.

V = Velocidad del fluido.

L = longitud de la tubería.

D = Diámetro interior del pasadizo

f = Coeficiente de fricción con las paredes

g = aceleración gravitatoria.

Q = Caudal.

El coeficiente de fricción f tendrá distintos valores según los casos:

- *En régimen laminar:*

$f = 64 / R_e$ es el que se produce en los goteros de largo recorrido y en los de microtubo.

- *En régimen inestable*

La variabilidad del caudal hace muy difícil calcular f, por lo que los goteros se diseñan generalmente para que no estén comprendidos en este caso.

- *En régimen parcialmente turbulento*

f viene dado por la ecuación de Colebrook-White

$$1/f^{1/2} = 1,14 - 2 \log ((e/D) + 9,35 / (R_e * f^{1/2}))$$

- *En régimen completamente turbulento*

$$1/f^{1/2} = 2 \log (D/e) + 1,14 = 1,14 - 2 \log(e/D)$$

siendo f independiente de R_e .

Aplicando la ecuación de Darcy a una tubería de diámetro dado, el valor

$$8fL / \rho^2 g D^5 \text{ es constante, por tanto } H = K_1 * Q^2$$

en el caso de régimen laminar

$$H = 8 * 64 * L * Q^2 / (R_e \rho^2 g D^5) = 512 L Q^2 \rho D u / (4 \rho^2 g D^5) = (128 L u / (\rho g D^4)) Q$$

como $128 L u / (\rho g D^4) = \text{constante}$ $H = K_2 * Q$

Todos los goteros que se fabrican pueden encuadrarse en dos grupos generales: de orificio y de largo recorrido, pues los goteros múltiples y los de recorrido tortuoso son variaciones de los anteriores.

En el primer caso, la pérdida de carga tiene lugar al atravesar el agua el orificio; por tanto, el caudal del gotero viene determinado por la ecuación de salida de agua por un orificio.

$$Q = A * C (2gH)^{1/2}$$

C= Coeficiente del gotero.

A = Sección de salida.

H = Presión de trabajo.

En los de largo recorrido la pérdida de carga tiene lugar por rozamiento del agua en las paredes de un estrecho canal. Su caudal se obtiene por la fórmula de Darcy-Weisbach.

$$H = f * LV^2 / (2gD) = 8fLQ^2 / (2gD^5)$$

de donde puede obtenerse la longitud del recorrido:

$$L = Hg\rho^2 D^5 / (8fQ^2)$$

H = Presión de trabajo.

D = Diámetro interior del pasadizo.

F = Coeficiente de fricción con las paredes.

Q = Caudal.

AX.3.3 Ecuación del gotero.

Es prácticamente la generalización de la ecuaciones que se han mostrado, tanto para el caso de régimen laminar como para régimen turbulento.

Krameli y Keller, en experimentos con goteros tipo microtubo o de largo recorrido comprobaron que el coeficiente x es ligeramente distinto al teórico 1, variando entre 0,56 y 0,81, según los casos, en función del caudal del gotero y la tubería. Estas cifras están por tanto comprendidas entre lo que es un régimen estrictamente laminar y uno turbulento puro.

En el caso de los goteros de orificio también comprobaron que el régimen de funcionamiento es ligeramente distinto al teórico de salida por un orificio con valores de x comprendidos entre 0,38 y 0,56.

En el caso de los goteros múltiples se produce la pérdida de carga en dos etapas: En la primera, mediante un mecanismo de orificio o de largo recorrido, se produce la mayor parte de la pérdida de carga, fluyendo el agua a un pequeño recipiente desde el que se distribuye por las distintas salidas, generalmente microtubos. En esta segunda etapa se pierde el resto de la carga.

Teniendo en cuenta esto, propusieron como ecuación característica del gotero :

$$Q = K_d H^x$$

Siendo:

K_d = Constante que depende de cada gotero

x = Exponente de descarga que depende del régimen de funcionamiento.

H = Presión de funcionamiento del goteador.

Los fabricantes deben proporcionar estos datos, pero si no se dispone de ellos pueden determinarse, aplicando al gotero dos presiones H_1 y H_2 y midiendo sus caudales resultantes Q_1 y Q_2 , con lo que se obtiene:

$$x = 1g(Q_1/Q_2) / (1g(H_1/H_2))$$

y de la fórmula se obtiene K_d .

La representación gráfica de esta ecuación nos da la curva característica del gotero, que nos indica la sensibilidad del gotero a las variaciones de la presión.

En régimen laminar la representación de la ecuación nos daría una recta que correspondería a un valor de $x=1$.

Para un goteo totalmente autocompensante sería $x=0$, que correspondería a otra recta horizontal.

Entre ambos valores extremos tendríamos toda una gama de valores

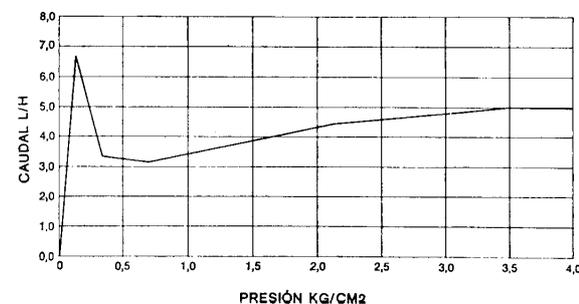
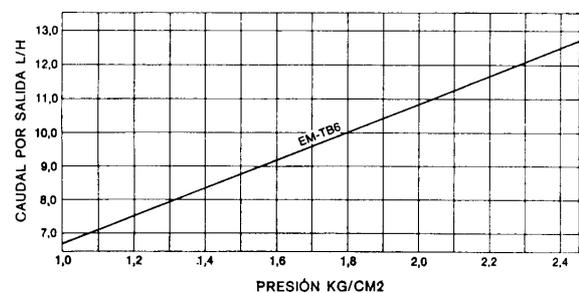


FIGURA AX. 5 Curvas características de los goteros

intermedios. A medida que aumenta el exponente, mayor es la sensibilidad del caudal del gotero a las variaciones de la presión.

Según puede verse en el gráfico siguiente, para goteros del tipo orificio, $x=0,5$, para los de largo recorrido x variará entre 0,5 y 1 y para los autocompensantes, entre 0,5 y 0.

Queda claro, finalmente, a efectos de la incidencia de la presión sobre el caudal, el régimen ideal de funcionamiento del gotero es el totalmente turbulento, pues para régimen laminar sería $Q = KH$, mientras que para régimen turbulento, $Q = K \cdot H^{1/2}$. Esto significa que en el primer caso, a una variación del 10 por 100 corresponde una variación de presión también del 10 por 100, mientras que en el segundo caso, a una variación de caudal del 10 por 100 corresponde una variación de presión del 20 por 100.

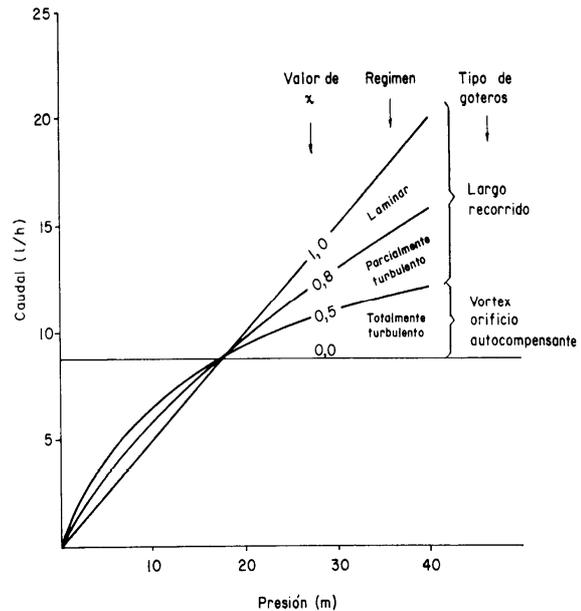


FIGURA AX. 6 Variación de la curva según exponente

AX.3.4 Factores que afectan al caudal de un gotero.

El caudal que arroja un gotero, de acuerdo con las especificaciones, del fabricante, sufre al colocarlo en el campo una serie de variaciones, unas inherentes al propio emisor y otras, a las condiciones en que trabaja.

Fabricacion: Todo proceso industrial es imperfecto; por tanto, el producto elaborado experimenta variaciones, aunque siempre comprendidas dentro de unos márgenes que se consideren tolerables.

Temperatura: Afecta al caudal de los goteros en dos sentidos: En el primer lugar el diseño del gotero puede ser tal que trabaje en régimen laminar y que dependa de la viscosidad del líquido. Como ésta varía con la temperatura, el caudal también puede verse afectado.

Pero, además, también puede afectar al material de que está fabricado el gotero, produciendo variaciones en el tamaño del orificio de salida y, consecuentemente, en el caudal. Esta incidencia es mayor en el caso de los goteros que emplean elásticos flexibles en su fabricación, como ocurre con los autocompensantes.

Tupiciones: Es la causa principal de inutilización de los sistemas de riego por goteo. La tupición puede ser total, con lo que no saldría agua por los orificios, o parcial,

reduciéndose la sección del orificio y afectando ello al caudal. Ambas causas pueden producir la pérdida del cultivo a corto o medio plazo.

AX.3.5 Tuberías perforadas.

Conviene hacer especial mención, siendo que estamos hablando de los emisores, a los diversos tipos de tuberías perforadas que se utilizan en el riego por goteo.

Todas ellas suministran un caudal continuo a lo largo de su recorrido, por lo que sus características no se definen en caudal por cada salida, sino en caudal por metro lineal de tubería.

El proceso de fabricación de estas tuberías es más simple, en general, que el de cualquier gotero. Por tanto, su coeficiente de variación es alto. Su principal inconveniente es la falta de uniformidad que proporcionan. Además, los orificios de salida del agua son pequeños, por lo que es preciso la utilización simultánea de filtros de arena y malla fina para evitar obstrucciones. Funcionan ordinariamente a bajas presiones.

El material que se utiliza en su fabricación suele ser polibutileno.

A su favor tienen el precio, que generalmente es bajo, por lo que las instalaciones de este tipo suelen ser más baratas que las que utilizan goteros.

Su campo de aplicación se centra sobre todo en los cultivos en línea, principalmente los hortícolas, de pequeño marco de plantación.

Una mejora sobre las tuberías perforadas y con el mismo objetivo de abaratar la instalación, han aparecido en el mercado las tuberías que traen de fábrica los goteros ya colocados, con las separaciones entre ellos de acuerdo con el tipo de cultivo.

Se trata generalmente de goteros muy pequeños y que van incrustados interiormente en la tubería, la cual presenta por el exterior únicamente los orificios por los que sale el agua.

Estos goteros llevan un recorrido dentado que es el que determina el movimiento turbulento del agua y la correspondiente pérdida de carga.

ANEXO XI. BOMBAS

Otra de las herramientas incorporadas últimamente al paquete GESTAR, está directamente relacionada con el funcionamiento de las bombas. Se citarán a continuación los aspectos más relevantes de esta herramienta. Sin embargo, antes de empezar, se recuerdan a continuación algunos criterios referentes a las bombas, simplemente con la idea de refrescar la memoria para una total comprensión posterior del programa.

AXI.1. Curvas características de una bomba.

AXI.1.1 Los tres tipos de curva

Las curvas principales que caracterizan una bomba y que expresan sus cualidades, son, para una velocidad de rotación dada, estas tres:

1.-La **curva caudal - altura**, o curva Q-H, que expresa las variaciones de diferentes alturas de elevación en función del caudal.

Teóricamente, la variación de H es lineal en función de Q para una bomba con un número infinito de álabes...

Pero, el hecho de que realmente el número de álabes sea finito y de un espesor dado, por un lado, y la existencia de pérdida de cargas debidas al choque con los álabes y al roce con ellos desde la entrada a la salida, convierte esta relación lineal en una parábola, resultante de restar a la recta Q-H inicial, las diferentes pérdidas de carga, como se muestra en la FIGURA AXI.1:

- 1.- Es la recta teórica, para un número infinito de álabes.
- 2.- Es la recta teórica, para un número finito de álabes.
- 3.- Curva de pérdidas, debidas a choques con los álabes
- 4.- Curva de pérdidas de carga roce o paso por los álabes.
- 5.- Curva resultante final Q-H

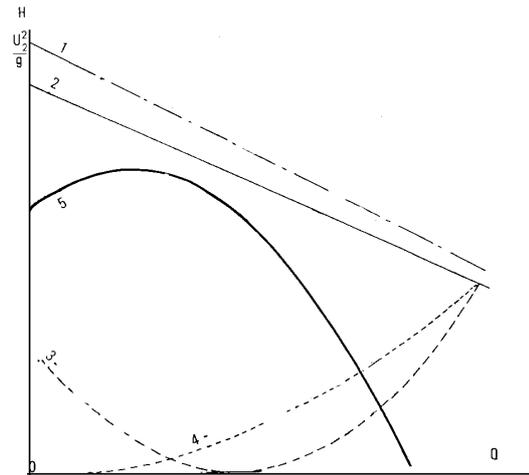


FIGURA AXI. 1 Casos de la curva Q-H

El punto F de corte de la curva Q-H con el eje de las ordenadas, es el punto a caudal nulo. Se le llama punto a válvula cerrada. El valor de la altura correspondiente a este punto F puede ser bien inferior, bien superior al resto de los valores de la curva Q-H. El primer caso, se encuentra en las bombas a baja velocidad específica y puede, en ciertos casos, dar lugar a comportamientos extraños a la hora de reducir el caudal o acoplar varias bombas en paralelo.

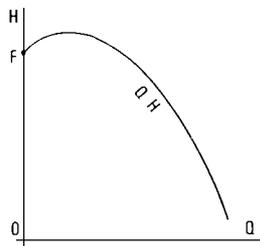


FIGURA AXI. 2 El punto F es inferior a ciertos puntos de la curva Q-H

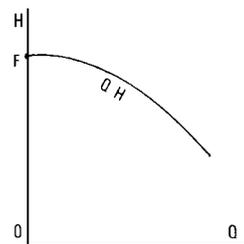


FIGURA AXI. 3 El punto F es superior a todo punto de la curva Q-H

2.-La **curva de rendimiento** en función del caudal. Antes de proceder a detallar la curva de rendimiento en función del caudal, vamos a efectuar un análisis cualitativo de las pérdidas existentes en las bombas. Ya se ha constatado varias líneas más arriba la presencia de pérdidas hidráulicas por fricción o choque, que englobadas dan lugar al rendimiento hidráulico, definido por la relación:

$$\eta_h = H / (H + \text{pérdidas hidráulicas})$$

Pero además de las pérdidas hidráulicas, tenemos la pérdidas por fugas, y las pérdidas mecánicas. Se cuantifican respectivamente a través de los rendimientos volumétrico y mecánico.

Las pérdidas volumétricas son debidas a la aparición de un caudal que retorna desde la salida del rodete hacia la entrada, debido al gradiente de presiones que aparece a través del huelgo existente entre el cuerpo de la bomba y el propio rodete. Tales fugas dependen de la presión que genera la bomba, del mecanizado de los componentes que configuran el huelgo y del trayecto que debe seguir el caudal de fugas. Este puede diseñarse muy angosto, a cambio de un costo de fabricación mayor. Por tanto el caudal que atraviesa el rodete y en definitiva, a quien se comunica la energía es $Q + q$, en tanto que el trasegado a la tubería de impulsión es tan sólo Q . El rendimiento volumétrico se define:

$$\eta_v = Q / (Q + q)$$

Consideramos finalmente las pérdidas numéricas de la bomba que incluyen las pérdidas de energía por fricción existentes en los prensaestopas y cojinetes de la bomba, así como el rozamiento de la superficie exterior del rodete con el fluido que ocupa el huelgo, denominadas pérdidas en los discos.

Si designamos P_m la potencia que se pierde por dicho rozamiento y por P_e la Potencia total que la bomba absorbe del motor que la arrastra, el rendimiento mecánico de la misma será:

$$\eta_m = (P_e - P_m) / P_e$$

En los catálogos los fabricantes de bombas proporcionan el rendimiento global, que se determina de inmediato a partir de los tres precedentes mediante la relación:

$$\eta_g = \eta_h * \eta_v * \eta_m$$

Al usuario de bombas sólo le interesa la evolución con el caudal del rendimiento global, sin importarle la variación individual de cada uno de los tres rendimientos que lo componen. El conocimiento de la curva caudal rendimiento es imprescindible cuando se trate de elegir una bomba para una instalación determinada. El funcionamiento de la bomba, debe estar lógicamente, lo más cerca del punto de máximo rendimiento, debiendo presidir este criterio la elección de la bomba.

3.-La **curva de potencia** absorbida en función del caudal.

Conviene notar que, para bombas con velocidad específica elevada, la potencia absorbida a válvula cerrada, puede ser notablemente mayor que la potencia absorbida en funcionamiento normal.

Se muestra a continuación un diagrama con estas tres curvas ,correspondientes a una bomba real (FIGURA AXI. 4):

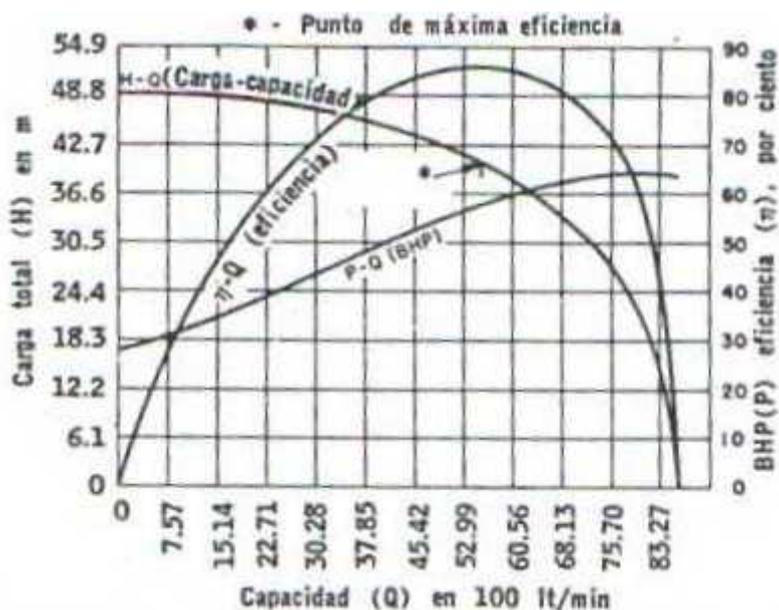


FIGURA AXI. 4 Tipos de curva que caracterizan una bomba

La curva Q- H y la curva de potencia absorbida son realizadas a base de ensayos, mientras que la curva del rendimiento se deduce de las anteriores.

Si la bomba ha sido bien concebida, el punto de funcionamiento P, que se sitúa sobre la curva Q-H en la intersección de esta con la vertical que pasa por el valor q del caudal a elevar, debe corresponder al rendimiento máximo.

Se puede deducir de este hecho, que el rango de utilización de una bomba centrífuga, es bastante reducido. Realmente, la curva del rendimiento presenta un máximo no muy marcado, lo que permite tener un cierto número de valores q-h aceptables.

AXI.2 Expresión de la potencia absorbida por una bomba.

Siendo la densidad del agua de 1000 Kg/m^3 , el peso a elevar una altura H en un segundo, expresado en newtons, es de:

$$1000 Q * 9.81$$

Y la potencia necesaria en watios será :

$$1000 QH *9.81$$

Teniendo en cuenta el rendimiento:

$$P = 9.81 QH/\rho$$

Donde P se expresa en Kw.

Q en m³/seg.

H en m.

Y ρ es el rendimiento de la bomba.

H es la altura manométrica total de elevación y comprende la suma de los siguientes términos:

1. La altura geométrica de elevación Hg entre el plano de agua a bombear, y el punto más alto a abastecer. Esta altura geométrica se descompone en dos:

-Altura geométrica de aspiración Ha, que para una bomba horizontal, es la distancia entre el plano de bombeo y el eje de la bomba.

-Altura Hr, que es la altura entre el punto más alto a abastecer y el eje de la bomba.

Por lo que se puede escribir:

$$Hg = Hr + Ha \text{ para una elevación con depresión en la aspiración}$$

$$Hg = Hr - Ha \text{ para una elevación bajo presión en la aspiración.}$$

2. Las pérdidas de carga totales J, cuyo cálculo no presenta mayores dificultades.

AXI.2. Aspiración de las bombas centrífugas.

AXI.2.1 Capacidad práctica de aspiración.

Como ya se sabe, es imposible elevar agua en un tubo, en el que se hace el vacío, a una altura superior a aquella en que se llega al equilibrio con la presión atmosférica.

A una latitud cero, esta altura es de 10,33 m. A la altitud h dicha altura será: $10,33-0,0012*h$.

En consecuencia, la depresión a crear en referencia a la presión atmosférica para hacer llegar al agua hasta la bomba, deberá ser siempre inferior al vacío teórico; dicha depresión será consecuencia de la suma de los términos siguientes:

- Altura geométrica de aspiración,
- Pérdidas de carga en la aspiración,
- Eventualmente, tensión de vapor para la temperatura del agua bombeada.

La altura geométrica de aspiración, dependerá del tipo de bomba. Las pérdidas de carga en la aspiración, dependerán del diámetro elegido para el tubo de aspiración. Interesará una pérdida de carga mínima, de manera que, para satisfacer esta última condición, el diámetro adoptado, no será necesariamente el más económico. Además, será tenido en cuenta las pérdidas de carga singulares resultantes de la presencia de codos, válvulas...

En cuanto al tercer término, no interviene prácticamente para el bombeo de aguas donde la temperatura exceda de 18° C. Para esta temperatura, la tensión de vapor es del orden de 0,20 m es decir, despreciable. Pero si se debieran bombear aguas calientes, no podemos despreciar dicho término, ya que a una temperatura, por ejemplo, de 75°C la tensión de vapor será del orden de 4 m.

Estas consideraciones de orden físico, no son suficientes para el correcto funcionamiento de las instalaciones de bombeo. Debiendo considerarse además la cavitación en la bomba, reconocible por un ruido como de piedras en el interior de la bomba. Acompañado de vibraciones y erosión de prematura de los álabes y provocando una caída brusca en las curvas características.

Así, toda bomba centrífuga posee una capacidad práctica de aspiración, expresada en altura de agua en función del caudal bombeado. Esta capacidad de aspiración disminuye cuando el caudal aumenta. La curva se construye a base de ensayos y es válida únicamente para la velocidad de rotación para la que ha sido establecida.

AXI.2.2 N.P.S.H.

A esta capacidad práctica de aspiración, va unido inevitablemente el término de N.P.S.H. (Net Positive Suction Head) y que podemos traducir como la carga neta de aspiración.

El usuario de la bomba, deberá calcular el N.P.S.H. de que podrá disponer: este será por definición el valor de la presión absoluta medida en el eje de la brida de aspiración de la bomba, y que resultará de las características de la instalación en la aspiración. Este es el N.P.S.H. disponible.

El constructor, por su parte, establece los valores del caudal para los que la cavitación aparece. Ésta se produce siempre que en el interior de la bomba, la presión absoluta del agua, que decrece entre la brida de aspiración y la turbina, sea inferior a la presión de vapor. Estos valores quedarán reflejados en una curva, propia de cada bomba. Este N.P.S.H. dado por el constructor, se denomina N.P.S.H. requerido (Expresado asimismo en presión absoluta).

Para que las condiciones de aspiración definidas por el usuario de la bomba, sean siempre satisfactorias, es necesario que el N.P.S.H. disponible, sea superior en algunos decímetros al N.P.S.H. requerido en todo el rango de utilización de la bomba.

En resumen, el ingeniero deberá calcular el N.P.S.H. disponible, es decir el valor de la presión absoluta $p_1/\rho g$ a la entrada de la bomba.

A este efecto, la ecuación de Bernoulli aplicada entre el plano de aspiración (z_0 , p_0 , v_0) y la entrada de la bomba (z_1 , p_1 , v_1), y siendo J_a la pérdida de carga en la aspiración:

$$z_0 + p_0/\rho g + v_0^2/2g = z_1 + p_1/\rho g + v_1^2/2g + J_a$$

$$\text{de donde: } p_1/\rho g = p_0/\rho g + (z_0 - z_1) + (v_0^2/2g - v_1^2/2g) - J_a$$

Teniendo en cuenta la presión de vapor del líquido t en la superficie de aspiración:

$$p_1/\rho g = (p_0 - t)/\rho g + (z_0 - z_1) + (v_0^2/2g - v_1^2/2g) - J_a$$

En algunos casos, tanto la presión de vapor t como los términos de la velocidad son despreciables con lo que queda:

$$\text{NPSH disponible} = 10 - (H_a + J_a)$$

Donde se ha llamado H_a a la altura geométrica de aspiración, y se ha hecho $p_0/\rho g = 10$ m de columna de agua.

Todas estas consideraciones, son ilustradas en la figura siguiente:

-La curva del NPSH disponible de la instalación en función del caudal, es descendente, ya que J_a aumenta con Q . En efecto, la expresión anterior de NPSH muestra que el NPSH disponible varía con J_a para un H_a dado.

Cuando la aspiración es corta, normalmente, la curva del NPSH disponible viene a ser, prácticamente una recta horizontal, pasando por H_a .

-La curva del NPSH requerido de la bomba, en función del caudal, es una curva ascendente.

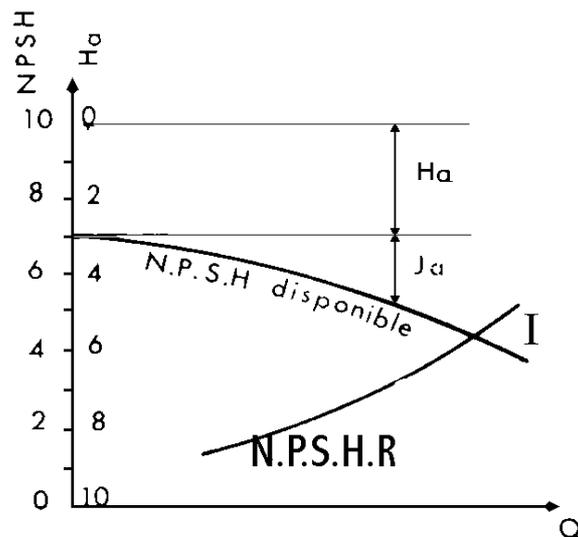


FIGURA AXI. 5 Curvas del NPSH

Estas dos curvas se cortan en el punto I. En la región a la izquierda de la vertical que pasa por este punto, es donde habrá que tener el punto de funcionamiento de la bomba.

REFERENCIAS

- 1 ALIOD, R.; EIZAGUERRI, A.; ESTRADA, C.; PERNA, E. (1997): “*Métodos Convencionales y Avanzados para el Diseño y Análisis Hidráulico de Redes de Distribución a Presión en Riego a la Demanda*” Riegos y Drenajes Siglo XXI, nº 22, Enero 1997
- 2 ALIOD, R.; HERNÁNDEZ, C.; PUICERCÚS, A. (1994): “*Análisis Nodal de los Sistemas Hidráulicos a Presión en Régimen Permanente*”. Curso de Diseño, Análisis y Explotación de Redes de Riego a Presión. EUPH-UZ. Huesca.
- 3 BLEVINS, R. D. (1984): “*Applied Fluid Dynamics Handbook*”. pp 91 Van Nostrand Reinhold Company Inc.
- 4 CAMPOS, A. (1993): “*Steady-State Fluid Network Analysis*”. J. Hydraulic Engng 119 (3) pp 431-436.
- 5 CHRISTIANSEN, J. E. (1942). “*Irrigation by Sprinkling*”. Calif. Agric. Expt. Sta. Bul. 670, Univ. of California, Davis Calif.
- 6 DE PACO, J. L. (1992). “*Fundamentos del Cálculo Hidráulico en los Sistemas de Riego y Drenaje*”. Ed. Mundi-Prensa, IRYDA.
- 7 DUFF, I.F., ERISSMAN, A.M., REID, J.K. (1986): “*Direct Methods for Sparse Matrices*”. Chap. 9. Oxford Science Publications.
- 8 GUILLÉN, J; BESCOS, M.; DOZ, J.M.; MARZAL, A., ALIOD, R. (1998): “*Metodologías y Resultados para la Validación y Calibración de Modelos hidráulicos de Redes de distribución a la Demanda*”. Riegos y Drenajes Siglo XXI, nº 102, Septiembre 1998
- 9 MARTÍNEZ, F.; PÉREZ, R.; SANZ, F. (1990): “*Programa de Cálculo para el Dimensionado Económico de las Arterias Principales y Altura de Cabecera en Redes de Riego Localizado*”. Riegos y Drenajes, Núm. 47.
- 10 MONTALVO, T.; ARVIZA, J. (1992): “*Diseño de Sistemas de Riego Localizado. Programa RCAL*”. Riegos y Drenajes, Núm. 65,
- 11 ROSSMAN, A. (1994): “*Epanet Users Manual*”. Drinking Water Research Division Risk Reduction Engineering Laboratory Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency, Ohio 45268
- 12 SCALOPPI, J., ALEN, G. (1993): “*Hydraulics of Irrigation Laterals: Comparative Analysis*”. J. Irrigation and Drainage Engng. 119 (1). pp. 91 - 115.

- 13 TODINI, E., PILATI, S. (1987): “*A Gradient Method for the analysis of Pipe Networks*”. Int. Conference on Computer Applications for water Supply and Distribution. Leicester, Polytechnic, U.K.
- 14 WARRICK, A.W., YITAYEW, M. (1988): “*Trickle Lateral Hydraulics I; Analytical Solution*”. J. Irrigation and Drainage Engng 114 (2) pp. 281 - 288.