

# EPANET 2

## MANUAL DEL USUARIO

*en Español*

por

Lewis A. Rossman  
Water Supply and Water Resources Division  
National Risk Management Research Laboratory  
Cincinnati, OH 45268

NATIONAL RISK MANAGEMENT RESEARCH LABORATORY  
OFFICE OF RESEARCH AND DEVELOPMENT  
U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY  
CINCINNATI, OH 45268

Traducción: Fernando Martínez Alzamora  
Grupo IDMH. Dep. Ingeniería Hidráulica y M.A,  
Universidad Politécnica de Valencia (España)





Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, grabada en sistema de almacenamiento o transmitida en forma alguna ni por cualquier procedimiento, ya sea electrónico, mecánico, reprográfico, magnético o cualquier otro, sin autorización previa y por escrito, tanto del autor, de Aguas de Valencia, como de Librería Politécnica.

©Copyright versión española: Fernando Martínez  
Grupo IDMH. Dep. Ingeniería Hidráulica y M.A.  
Universidad Politécnica de Valencia (España)



Financiación: Grupo Aguas de Valencia  
G.V. Marqués del Turia, 19  
46005 - Valencia



I.S.B.N. : 84-

Depósito Legal:



## **DESCARGOS**

La información contenida en este documento ha sido financiada totalmente o en parte por la Agencia del Medio Ambiente de EEUU (U.S. Environmental Protection Agency -EPA). Ha estado sometida a una revisión técnica y administrativa por parte de la Agencia, habiendo sido aprobada para su publicación como un documento de la EPA. La mención de marcas registradas o productos comerciales no presupone el apoyo a los mismos o la recomendación de su uso.

Aunque se ha realizado un notable esfuerzo para asegurar que los resultados obtenidos con los programas descritos en este manual sean correctos, éstos no dejan de ser experimentales. Por consiguiente, el autor y la U.S. Environmental Protection Agency no se responsabilizan ni asumen obligación alguna en relación a los resultados obtenidos con los programas o el uso que se haga de los mismos, ni tampoco por los perjuicios o litigios que pudieran derivarse del uso de estos programas con cualquier fin.



## PRÓLOGO

La Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EEUU (U.S. Environmental Protection Agency) tiene la misión, por encargo del Congreso, de proteger el suelo, la atmósfera y los recursos hídricos de la nación. Bajo el mandato de las leyes nacionales para la conservación del medio ambiente, la Agencia se esfuerza en proponer y llevar a cabo actuaciones dirigidas a hacer compatible el equilibrio entre las actividades humanas y la capacidad del medio natural para mantener y procurar la vida. Al objeto de cumplir este cometido, los programas de investigación de la EPA están dirigidos a proporcionar los datos y el soporte técnico requerido para resolver los problemas medioambientales de hoy en día, y construir una base de conocimientos sólida que permita gestionar prudentemente nuestros recursos ecológicos, comprender cómo la contaminación puede afectar a la salud, y prevenir o reducir los riesgos medioambientales en el futuro.

El Laboratorio de Investigación Nacional para la Gestión de Riesgos (National Risk Management Research Laboratory) es un Centro de la Agencia dedicado a la investigación de procedimientos técnicos y de gestión, orientados a reducir los riesgos que amenazan a la salud humana y al medio ambiente. El principal objetivo de los programas de investigación que tiene en marcha el Laboratorio se centra en el desarrollo de métodos para la prevención y control de la contaminación del aire, del suelo, del agua y de los recursos sub-superficiales; a la protección de la calidad del agua en los abastecimientos públicos; a la recuperación de zonas y acuíferos contaminados; y a la prevención y control de la contaminación del aire en recintos interiores. El propósito de todo este esfuerzo de investigación es catalizar el desarrollo e implantación de tecnologías medioambientales innovadoras y económicamente justificables; obtener la información científica e ingenieril requerida por la EPA para avalar las propuestas de normativas y planes de actuación; y finalmente proporcionar el soporte técnico y la transferencia de información requerida para asegurar una implantación efectiva de las estrategias y normativas medioambientales.

Al objeto de satisfacer los requerimientos de las normativas, así como los deseos de los usuarios, las compañías que gestionan los servicios de agua han manifestado una necesidad creciente por comprender mejor el avance y las transformaciones que experimenta el agua tratada, cuando se introduce en las redes de distribución. EPANET es un modelo de simulación por computador que ayuda a cumplir este objetivo. Predice el comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en un sistema de distribución de agua durante periodos de operación prolongados. Este manual describe el manejo de una versión del programa recientemente revisada, la cual incorpora numerosas mejoras introducidas durante los últimos años.

E. Timothy Oppelt, Director  
National Risk Management Research Laboratory





## PRÓLOGO A LA TRADUCCIÓN ESPAÑOLA

EPANET es un programa orientado al análisis del comportamiento de los sistemas de distribución de agua y el seguimiento de la calidad del agua en los mismos, que ha tenido una gran aceptación en España, y en todos los países de habla hispana, desde su lanzamiento en Europa en Septiembre de 1993. Ello se debe principalmente al excelente trabajo realizado por su autor L. Rossman, quien ha sabido conjugar los algoritmos de cálculo más avanzados con una interfaz gráfica potente y amigable. También han influido en su difusión otros factores, como la posibilidad de integrar el módulo de cálculo en otras aplicaciones, el soporte dado por la EPA para su distribución gratuita, y la existencia de una lista abierta de usuarios para realización de todo tipo de consultas y puesta al día. La distribución de una versión española ha sido posible gracias a las sucesivas traducciones realizadas por quien suscribe, desde la versión 1.1b de Noviembre de 1994, hasta la última revisión 1.1e de Junio de 1996.

Desde 1995, las sucesivas versiones españolas de EPANET 1.1 fueron difundidas a toda España a través de la U. D. Mecánica de Fluidos, del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, apoyadas por cursos de formación en su manejo. Sin embargo, siguiendo el espíritu de la EPA, desde Febrero de 1997 en que dejé dicho grupo, la última versión 1.1e ha sido distribuida gratuitamente, bien en su formato original por parte de quien suscribe, o bien manipulada por parte del actual Grupo de Mecánica de Fluidos.

Durante el verano de 1997 tuve la gran oportunidad de colaborar con Lewis Rossman en la configuración y definición de las nuevas prestaciones que iba ofrecer la versión 2.0 del programa EPANET, gracias a una estancia de dos meses realizada en Cincinnati, financiada por la Consellería de Educación y Ciencia de la Generalitat Valenciana. Muchas de las mejoras que hoy pueden verse en la nueva versión fueron fruto de aquella colaboración.

Lo primero que destaca en la nueva versión es la incorporación de un entorno de edición gráfico para definir la red, así como una mejora notable de las salidas gráficas, todo ello reescrito de nuevo en el entorno Delphi, el cual ha venido a sustituir al Visual Basic empleado en la versión anterior. Ello obedece a varias razones, pero la más importante es la capacidad del nuevo entorno para manejar con soltura gráficos de redes complejas, que pueden llegar a incorporar varios miles de nudos (hemos trabajado con redes de hasta 40.000 nudos con la nueva versión sin dificultad). En general, la nueva interfaz gráfica goza de gran rapidez, al tiempo que ocupa menos memoria que la anterior, gracias a la potencia del entorno Delphi que permite compilar el módulo ejecutable en un lenguaje de bajo nivel, el cual es ejecutado directamente sin necesidad de intérprete (runtime). Otra de las razones que aconsejaba el uso de Delphi era la mayor proximidad del lenguaje ObjectPascal utilizado por dicho entorno, al lenguaje C en que continúa redactado el módulo de cálculo.

Las principales mejoras introducidas en la interfaz gráfica de la nueva versión 2.0, respecto a la versión anterior 1.1e, pueden consultarse en la ayuda en línea del producto. No obstante, vamos aquí a resaltar algunas de ellas:

- Por fin se puede editar el trazado de la red de forma totalmente gráfica, definiendo primero los nudos (demandas, depósitos o embalses) y enlazándolos a continuación mediante líneas (tuberías, bombas o válvulas) para garantizar así la conectividad de la red. El trazado de las tuberías puede definirse mediante polilíneas, para ajustar mejor el esquema de la red a la realidad. Además, se pueden asignar valores por defecto a los identificativos (ahora se admiten hasta 15 caracteres o números) y propiedades de los elementos, los cuales son asumidos a medida que éstos se incorporan a la red. El trazado

gráfico no es potestativo, y pueden coexistir elementos con representación gráfica con elementos sin representación.

- Al objeto de facilitar el trazado gráfico de la red, y también con fines orientativos, es posible cargar un fondo sobre el área de dibujo, bien en formato mapa de bits o en formato vectorial, recomendándose este último. Dicho fondo puede ajustarse al trazado de la red, redimensionando el área de trazado si fuera necesario, y almacenarlo como parte del proyecto. En definitiva, la nueva versión permite trazar la red sobre un fichero de fondo importado, por ejemplo, desde AutoCad (no permite, sin embargo, leer directamente el trazado de una red previamente dibujada en AutoCad. Ver el Capítulo 12 a este respecto).
- EPANET 2 incorpora una base de datos interna en la cual se almacenan todos los elementos, propiedades y parámetros que configuran el escenario actual. Dicha base es el elemento de conexión entre el editor gráfico y las utilidades para la lectura, grabación, exportación e importación de los datos, y puede consultarse o editarse directamente desde la nueva ventana del visor. La nueva estructura de datos es compatible con los ficheros de la versión anterior, los cuales pueden todavía leerse directamente.
- De cara a facilitar la entrada de las propiedades de los elementos, éstos pueden agruparse con un cercado trazado sobre el esquema de la red, y definir de una sola vez las propiedades que sean comunes a todos ellos. También es posible añadir o multiplicar por un valor dado determinadas propiedades de todos los elementos de un cercado.
- Se han ampliado las capacidades de visualización de los resultados (y de algunos datos) sobre el esquema de la red mediante códigos de colores, pudiendo ahora establecer los rangos por intervalos iguales o por percentiles equivalentes. Se dispone igualmente de una serie de rampas de colores preestablecidos para facilitar la codificación, pudiendo personalizar cualquiera de los colores asignados mediante una paleta de 16 millones de colores.
- También se ha incrementado notablemente el número de opciones disponibles para personalizar la visualización de datos y resultados sobre el esquema de la red. Entre ellas destaca la incorporación de una caja de texto flotante, en la cual pueden observarse momentáneamente los resultados, al paso del ratón sobre los elementos de la red. En los puntos críticos las cajas de texto pueden hacerse permanentes, y observar en ellas la evolución de los resultados numéricos. Ello fue fruto de una discusión sobre la inoperatividad del antiguo visor para consultar los valores numéricos de las variables.
- Se pueden realizar consultas directamente sobre el esquema de la red para localizar un determinado nudo, línea o punto de inyección de un contaminante, así como para resaltar aquellos elementos cuyos resultados cumplen una cierta condición.
- En caso de trabajar con grandes redes, se puede mostrar el esquema global de la red en una ventana auxiliar, e identificar sobre ella la vista actual mediante un rectángulo. Es posible también navegar desde la ventana auxiliar para inspeccionar otras zonas de la red.
- Una innovación muy importante de la nueva versión es la posibilidad de mostrar como resultados sobre el esquema de la red, no ya los valores instantáneos de las magnitudes, sino un resumen estadístico de los mismos a lo largo de la simulación. Por ejemplo, valores máximos, mínimos, medias o el rango de variación. Uno de los objetivos de esta novedad era poder valorar la dosis total de contaminante que distribuye un nudo de la red a lo largo del periodo de simulación.

- También ofrece la nueva versión la posibilidad de realizar una animación, mostrando sobre el esquema de la red los valores instantáneos de la variable elegida codificados por colores, con funciones de pausa, rebobinado, marcha atrás y control de la velocidad de animación.
- Como antes se ha comentado, las salidas gráficas se han potenciado enormemente. Las curvas de evolución permiten superponer ahora varios nudos o líneas en la misma gráfica. Se mantienen los mapas de isolíneas con algunas mejoras, y se añade la posibilidad de trazar perfiles longitudinales, así como curvas de distribución para cualquier magnitud elegida. Además puede generarse una curva que representa el balance global entre producción y consumo, a lo largo del periodo de simulación. Las posibilidades de personalizar todas estas curvas se han incrementado de forma significativa.
- Las salidas tabulares para un instante dado, o para un elemento dado, pueden ahora personalizarse, permitiendo elegir las magnitudes a visualizar y los elementos a incluir en la tabla mediante la aplicación de filtros múltiples.
- Se ha incrementado el número de informes de resultados proporcionados por la aplicación. Así, además del informe que recoge la marcha de los cálculos, se ha añadido un informe específico de calibración, otro sobre consumos energéticos y otro sobre las reacciones habidas en el transcurso de la simulación de un modelo de calidad. Se puede también solicitar un informe completo con todos los resultados, para incorporarlos por ejemplo en los anejos de cálculo de un Plan Director.
- En particular, las mejoras introducidas de cara a facilitar la calibración de modelos son varias. Así, es posible disponer ahora de varios ficheros de texto con datos de campo, cada uno para una magnitud distinta medida en diversos puntos de la red. A la hora de contrastar los resultados del modelo con las medidas de campo se pueden analizar diversas magnitudes simultáneamente. También se pueden comparar los resultados con las medidas de campo a través de una gráfica de evolución, o generar un informe de calibración bastante completo provisto de diversas estadísticas.
- Otra mejora orientada a facilitar la gestión de diversos escenarios, es la posibilidad de exportar/importar datos parciales de la red, referentes a diámetros, consumos, rugosidades, calidad inicial, coeficientes de reacción o leyes de control. De este modo pueden guardarse o cargarse rápidamente diversos escenarios para una misma red, con el fin de analizar distintas hipótesis de trabajo.
- Como complemento de la opción anterior, la nueva versión de EPANET 2 puede ejecutarse simultáneamente cuantas veces se quiera. Así, mientras en una ventana estamos viendo los resultados correspondientes a la ejecución de un cierto escenario, en otra ventana podemos ver los correspondientes a un escenario distinto, y comparar visualmente ambos resultados.
- Finalmente, se han aumentado en la nueva versión las posibilidades de exportación del trazado de la red y de los resultados, bien en forma gráfica o tabular, mediante ficheros de texto, tablas, mapas de bits, o ficheros vectoriales. Para ello se hace uso del portapapeles de Windows, o de funciones específicas de exportación. Entre ellas se encuentra la posibilidad de exportar el esquema de la red como fichero .dxf, compatible con AutoCad o MicroStation. Gracias a estas funciones se puede capturar el esquema de la red con sus resultados después de un cálculo, y adjuntarlos en una memoria o superponerlos sobre el fondo CAD que sirvió para su trazado. La exportación de los resultados a otras aplicaciones permite realizar un tratamiento posterior de éstos desde el nuevo entorno.

Todas las mejoras descritas afectan sustancialmente a la interfaz de usuario de EPANET 2, pero también las capacidades de cálculo han sido mejoradas notablemente. Destaquemos las más relevantes:

- Es posible definir ahora demandas múltiples en los nudos, diferenciadas por categorías de consumidores, cada uno de los cuales puede poseer su propia curva de modulación.
- Se puede añadir a cada nudo de la red un emisor, es decir, una salida de caudal dependiente de la presión. Mediante ellos se puede simular el comportamiento real de los hidrantes contra incendios de una red urbana, los rociadores de un sistema automático de extinción, los hidrantes de una red de riego a presión, o bien simular de modo natural el efecto de una fuga en la red. Utilizando esta función, tenemos previsto implementar en el futuro un modelo para distribuir las fugas latentes de una red atendiendo a diversos criterios.
- En la nueva versión, los depósitos de nivel variable se han diferenciado de los embalses, esto es, reservas de agua de un volumen muy superior al consumo diario. Además, el nivel de los embalses puede hacerse variar en el tiempo aplicándoles una curva de modulación. Mediante esta innovación se pueden simular nudos de la red en los cuales la variación de la presión con el tiempo es conocida, por ejemplo, la entrada a un subsector de la red donde la fluctuación de las presiones a lo largo del día viene impuesta por la red principal, o la salida de una estación de bombeo regulada por presión. También resulta muy útil esta nueva función con fines de calibración.
- Se ha generalizado la definición del comportamiento de algunos elementos que forman parte de la red, como es el caso de los depósitos de geometría variable, o el de las bombas, cuyas curvas característica y de rendimiento admiten ahora cualquier trazado. Para ello se ha introducido un nuevo tipo de dato, denominado curva de comportamiento, distinto a las curvas de modulación que ya existían en la versión anterior.
- Aprovechando la existencia de este nuevo tipo de dato, es posible ahora introducir nuevos elementos en la red cuyo comportamiento venga definido por el usuario. Por ejemplo, turbinas, curvas de descenso de un pozo, válvulas reductoras de presión controladas por caudal, etc.
- A raíz de una reivindicación solicitada hace mucho tiempo, finalmente la capacidad de las leyes de control ha sido potenciada enormemente en la nueva versión. Así, junto a las leyes de control simples, similares a las de la versión anterior, se han añadido leyes más complejas basadas en todo tipo de relaciones lógicas. De este modo, la complejidad con que operan actualmente muchos automatismos locales puede ser reproducida durante la simulación. Ello ha obligado a modificar el tratamiento interno de estas leyes en el módulo de cálculo, sustituyendo el método predictor-corrector utilizado para las leyes simples por una técnica de barrido.
- Otra mejora muy interesante es la posibilidad de ajustar el arranque de la simulación a una hora determinada de día, con lo cual se facilita, por lo pronto, la interpretación de resultados (la hora real puede visualizarse en la ventana del esquema de la red). Pero lo que es más importante, con ello se ha dado un primer paso hacia la integración del módulo de cálculo de EPANET en sistemas de control en tiempo real. Al ajustar la hora de arranque de la simulación, se traslada también automáticamente el punto de inicio de las lecturas sobre las curvas de modulación, de modo que éstas no necesitan modificarse.
- Con el fin de facilitar la optimización de la gestión energética, la nueva versión permite calcular ahora los consumos energéticos de las estaciones de bombeo y los costes asociados, teniendo en cuenta los precios establecidos para la energía hora a hora. La

posibilidad de ajustar el tiempo de simulación al tiempo real era necesaria para este menester. Por otra parte, al dejar libertad al usuario para definir la curva de precios, es posible aplicar cualquier tipo de tarifa, incluso las negociadas por los consumidores cualificados acogidos a la nueva ley de regulación del mercado eléctrico. La aplicación genera además un informe detallado de todos los consumos energéticos habidos durante el periodo de simulación.

- Las mejoras afectan también al módulo de calidad. En concreto, se han incrementado las opciones disponibles para definir las características del punto de inyección de un contaminante en la red, entre las que se contemplan diversos modos automáticos de funcionamiento de las estaciones de recloración. El orden de las reacciones puede además ser distinto de uno, tanto en las paredes como en el medio, lo que permite ajustar el modelo para simular reacciones más complejas de las habituales. Dichas reacciones pueden además tender a un valor límite, por encima de la concentración actual (caso de los trihalometanos) o por debajo. El coeficiente de reacción en la pared se puede correlacionar con la rugosidad de las tuberías, facilitando así su estimación. Además, se han incorporado diversos modelos de mezcla en los depósitos, adaptables a las nuevas tendencias en el diseño de los mismos, basadas en la incorporación de pantallas deflectoras para controlar la mezcla del agua entrante con la residente.
- También el algoritmo de cálculo utilizado hasta ahora para ejecutar el modelo de calidad, de tipo euleriano, y basado en el método de los volúmenes discretos propuestos por el propio Rossman, ha sido sustituido por otro más eficiente de tipo lagrangiano, basado en el seguimiento en el tiempo del avance a través de la red de una serie de porciones de agua bien definidas. En el futuro este modelo puede dar mucho más juego, permitiendo modelar la evolución de varias sustancias simultáneamente, así como sus reacciones entre sí.
- Finalmente, una de las innovaciones que puede tener más repercusión para los investigadores que trabajan en este campo, es el hecho de haber estructurado el módulo de cálculo en un conjunto de funciones diferenciadas, las cuales se han compilado conjuntamente en una librería dinámica (.dll). Ello permite una total integración del módulo de cálculo, ya sea completo o descompuesto en funciones más elementales, en cualquier otro entorno de programación externo, bien en lenguaje nativo o en lenguaje propietario como sería el caso de Excel o de un entorno GIS. Utilizando individualmente las funciones del módulo de cálculo, es posible incluso modificar la secuencia de operación típica de una simulación, al objeto de incorporar técnicas de optimización, o realizar cálculos iterativos para la determinación de las fugas de una red, por ejemplo. El manejo de esta herramienta se encuentra perfectamente documentado, y se distribuye bajo la denominación de *Toolkit* (Caja de Herramientas).

Todo este caudal de mejoras ha supuesto la realización de una labor ingente por parte del autor, lo que justifica sobradamente el retraso habido en la aparición de la nueva versión, desde que fuera anunciada en 1998. Muchas de estas mejoras fueron tomadas de una interfaz propia, que tenía en desarrollo con anterioridad a mi estancia en Cincinnati, la cual actualmente he abandonado. El código fuente de la nueva versión de EPANET casi se ha triplicado, ocupando unas 50.000 líneas de programa, y en consecuencia, se ha incrementado también el volumen del presente Manual del Usuario.

Abordar la traducción de la nueva versión 2.0 de EPANET ha sido todo un reto, debido a la enorme cantidad de herramientas informáticas empleadas por el autor, al volumen de código implementado, las numerosas vías de comunicación con el usuario que presenta la aplicación, y el deseo por nuestra parte de realizar un trabajo profesional, como ya se hizo en las versiones anteriores.

La primera traducción al español de EPANET 2 alcanza hasta la revisión más reciente del programa, la **2.00.08**, fechada en 2 de Marzo de 2001. Se ha puesto un especial interés por mantener una compatibilidad total con la versión inglesa, tanto a nivel de ejecución como a nivel de datos, y se encuentren éstos en formato de fichero de texto o de fichero binario. Por consiguiente, no es necesario introducir ninguna modificación sobre los ficheros de datos desarrollados con la versión inglesa, para poder ejecutarlos con la versión española, y a la inversa, cualquier fichero configurado con la versión española puede ser ejecutado con la versión inglesa. Gracias a esta compatibilidad, es posible comprobar en cualquier momento la concordancia de resultados entre ambas versiones.

La traducción al español ha alcanzado a todos los componentes que integran EPANET 2, a saber:

- El módulo de cálculo (librería .dll y fichero ejecutable en DOS)
- La interfaz gráfica y componentes Delphi
- La ayuda en línea
- El Manual del Usuario
- La herramienta Toolkit para programadores y su ayuda en línea
- El instalador de la aplicación y ficheros auxiliares
- Los textos de los ejemplos de la versión original

Espero que los futuros usuarios de EPANET sepan aprovechar todas las posibilidades que nos ofrece esta nueva versión. Las redes de distribución de agua de nuestra geografía, y más aún aquellas de los países de habla hispana, necesitan de una continua mejora, pues el agua es un bien cada vez más escaso y apreciado y debemos aprender a gestionarlo con racionalidad, con eficiencia y al mismo tiempo con eficacia. Así, el hecho de construir y calibrar un modelo de una red en explotación, nos permitirá conocer más a fondo cómo se está comportando en realidad en términos hidráulicos y de la calidad del agua transportada, cómo se comportaría ante nuevos escenarios y, en definitiva, nos ayudará a planificar con mayor fiabilidad todas las mejoras propuestas, las cuales se canalizan en nuestro país a través de los denominados Planes Directores.

Entre las innumerables aplicaciones que pueden llevarse a cabo con EPANET 2, cabe destacar las siguientes: la planificación de mejoras en la red, el diseño y selección de nuevos elementos, la detección de los 'cuellos de botella' del sistema de distribución, la evaluación de la calidad y garantía de suministro a los abonados, la regulación de las presiones en la red, la reducción de los costes energéticos de operación, la mejora de la calidad del agua suministrada mediante la planificación de descargas puntuales, la regulación de los depósitos para reducir el tiempo de permanencia del agua en los mismos o la instalación de estaciones rectoras, la previsión de cómo la red se verá afectada ante futuras demandas o ante la posible clausura de ciertas fuentes de suministro, la planificación de actuaciones de emergencia en caso de avería o de entrada de un contaminante en la red, la valoración y localización de las fugas, la sectorización de la red para tener un mayor control sobre los caudales, etc, etc. En definitiva, los modelos deberán estar siempre presentes en el futuro para la toma de decisiones, en los niveles técnicos de las empresas encargadas de gestionar los servicios de abastecimiento de agua potable.

Quiero por último manifestar, que el esfuerzo que ha supuesto esta traducción no hubiera sido posible sin el decidido apoyo y la financiación del **Grupo Aguas de Valencia**, quien desde siempre me ha respaldado en todas las iniciativas de colaboración propuestas desde mis comienzos en la Universidad. Gracias al Grupo Aguas de Valencia, todos los potenciales usuarios de EPANET de habla hispana pueden ahora disfrutar de forma totalmente gratuita de la versión española de EPANET 2, el programa de análisis de redes hidráulicas de mayor difusión en todo el mundo.

La totalidad de documentos que componen la aplicación se pueden bajar libremente desde las siguientes páginas Web:

[www.aguasdevalencia.es](http://www.aguasdevalencia.es) (página principal Grupo Aguas de Valencia)  
[www.idmh.upv.es](http://www.idmh.upv.es) (página Grupo IDMH de la Univ. Politécnica Valencia)  
(página oficial de EPANET2, de la EPA)

En cualquiera de ellas se podrá encontrar la información actualizada de las futuras revisiones que vayan surgiendo, ya sea con motivo de cambios realizados en la versión original, o por otros desarrollos realizados a iniciativa propia.

Para cualquier problema, observación o consulta en torno al uso y difusión de la versión española de EPANET 2, dirigirse a la siguiente dirección:

Fernando Martínez Alzamora, Grupo IDMH  
Dep. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente  
Universidad Politécnica de Valencia  
Apartado 22012  
46080 VALENCIA (España)  
Tel: (34) 96 387 9610 Fax: (34) 96 387 9619  
e-mail: [fmartine@hma.upv.es](mailto:fmartine@hma.upv.es)

Finalmente deseo agradecer su apoyo a todos aquellos que me han ayudado en esta tarea. En particular a L. Rossman, por haberme facilitado el código fuente de la totalidad de los elementos que componen la nueva versión de EPANET 2, así como por su ayuda en la resolución de cuantas dudas me fueron surgiendo durante la labor de traducción, que fueron muchas. A Hugo Bartolín, becario del Grupo IDMH, por su colaboración en la traducción de la ayuda en línea del programa y del toolkit. Finalmente a los restantes componentes del grupo IDMH y a otros compañeros de esta Universidad, por las horas invertidas en revisar a fondo el producto final.

Valencia, 30 de marzo de 2001

Fernando Martínez Alzamora  
Catedrático de Ingeniería Hidráulica





## INDICE

<b>CAPITULO 1 - INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 QUÉ ES EPANET .....	1
1.2 PRESTACIONES PARA LA CONFECCIÓN DE MODELOS HIDRÁULICOS.....	2
1.3 PRESTACIONES PARA LA CONFECCIÓN DE MODELOS DE CALIDAD DEL AGUA .....	2
1.4 PASOS PARA UTILIZAR EPANET .....	3
1.5 ACERCA DEL MANUAL .....	4
<b>CAPITULO 2 - GUIA RÁPIDA.....</b>	<b>7</b>
2.1 INSTALACIÓN DE EPANET (VERSIÓN ESPAÑOLA).....	7
2.2 RED DE EJEMPLO .....	8
2.3 CONFIGURACIÓN DEL PROYECTO.....	9
2.4 DIBUJO DE LA RED.....	10
2.5 INTRODUCCIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS OBJETOS.....	12
2.6 GUARDAR Y REABRIR EL PROYECTO.....	13
2.7 ANÁLISIS EN RÉGIMEN PERMANENTE .....	14
2.8 ANÁLISIS EN PERIODO EXTENDIDO .....	15
2.9 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA .....	18
<b>CAPITULO 3 - EL MODELO DE LA RED.....</b>	<b>21</b>
3.1 COMPONENTES FÍSICOS.....	21
3.2 COMPONENTES NO FÍSICOS.....	29
3.3 EL MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA .....	35
3.4 EL MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA CALIDAD DEL AGUA.....	35
<b>CAPITULO 4 - EL ENTORNO DE TRABAJO DE EPANET.....</b>	<b>41</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	41
4.2 LA BARRA DE MENÚS .....	42
4.3 LAS BARRAS DE HERRAMIENTAS.....	45
4.4 LA BARRA DE ESTADO.....	47
4.5 EL ESQUEMA DE LA RED .....	47
4.6 EL VISOR DE DATOS.....	48
4.7 EL VISOR DEL ESQUEMA .....	48
4.8 EL EDITOR DE PROPIEDADES .....	49
4.9 PREFERENCIAS DEL PROGRAMA.....	50
<b>CAPITULO 5 - EL ENTORNO DEL PROYECTO.....</b>	<b>53</b>
5.1 ABRIR Y CERRAR ARCHIVOS DE PROYECTO.....	53
5.2 VALORES POR DEFECTO DEL PROYECTO .....	54
5.3 DATOS DE CALIBRACIÓN.....	56
5.4 EL RESUMEN DEL PROYECTO .....	58

<b>CAPITULO 6 - MANIPULACION DE OBJETOS.....</b>	<b>59</b>
6.1 TIPOS DE OBJETOS.....	59
6.2 AÑADIR OBJETOS.....	59
6.3 SELECCIÓN DE OBJETOS.....	61
6.4 EDICIÓN DE LOS OBJETOS VISIBLES.....	62
6.5 EDICIÓN DE LOS OBJETOS NO VISIBLES.....	68
6.6 COPIAR Y PEGAR OBJETOS.....	73
6.7 TRAZADO Y ORIENTACIÓN DE LAS LÍNEAS.....	74
6.8 BORRAR UN OBJETO.....	75
6.9 MOVER UN OBJETO.....	75
6.10 SELECCIONAR UN GRUPO DE OBJETOS.....	76
6.11 EDITAR UN GRUPO DE OBJETOS.....	76
<b>CAPITULO 7 - EL ESQUEMA DE LA RED.....</b>	<b>79</b>
7.1 SELECCIONAR EL MODO DE PRESENTAR EL ESQUEMA.....	79
7.2 ESTABLECER LAS DIMENSIONES DEL AREA DE DIBUJO.....	80
7.3 UTILIZACIÓN DE UN MAPA DE FONDO.....	81
7.4 ACERCAR O ALEJAR EL ESQUEMA.....	82
7.5 DESPLAZAR EL ESQUEMA.....	82
7.6 ENCONTRAR UN OBJETO.....	83
7.7 LAS LEYENDAS DEL ESQUEMA.....	83
7.8 VISTA GENERAL DEL ESQUEMA.....	85
7.9 OPCIONES DE VISUALIZACIÓN DEL ESQUEMA.....	85
<b>CAPITULO 8 - ANÁLISIS DE LA RED.....</b>	<b>89</b>
8.1 OPCIONES DE CÁLCULO.....	89
8.2 EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN.....	94
8.3 VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	94
<b>CAPITULO 9 - PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>97</b>
9.1 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS SOBRE EL ESQUEMA.....	97
9.2 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS MEDIANTE GRÁFICAS.....	99
9.3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS MEDIANTE TABLAS.....	108
9.4 INFORMES ESPECIALES.....	111
<b>CAPITULO 10 - IMPRIMIR Y COPIAR.....</b>	<b>117</b>
10.1 SELECCIÓN DE LA IMPRESORA.....	117
10.2 FORMATO DE LA PÁGINA.....	117
10.3 VISTA PREVIA DE LA PÁGINA.....	118
10.4 IMPRESIÓN DE LA VENTANA ACTUAL.....	118
10.5 COPIAR AL PORTAPAPELES O A UN FICHERO.....	119
<b>CAPITULO 11 - IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN.....</b>	<b>121</b>
11.1 ESCENARIOS DE UN PROYECTO.....	121
11.2 EXPORTACIÓN DE UN ESCENARIO.....	121
11.3 IMPORTACIÓN DE UN ESCENARIO.....	122
11.4 IMPORTACIÓN PARCIAL DE UNA RED.....	122
11.5 IMPORTACIÓN DEL ESQUEMA DE UNA RED.....	123
11.6 EXPORTACIÓN DEL ESQUEMA DE UNA RED.....	124
11.7 EXPORTACIÓN A FICHERO DE TEXTO.....	125
<b>CAPITULO 12 - PREGUNTAS MÁS FRECUENTES.....</b>	<b>127</b>

<b>APÉNDICE A - UNIDADES DE MEDIDA.....</b>	<b>131</b>
<b>APÉNDICE B - MENSAJES DE ERROR.....</b>	<b>133</b>
<b>APÉNDICE C - EJECUCIÓN DE EPANET EN MODO COMANDO.....</b>	<b>135</b>
C.1 INSTRUCCIONES GENERALES.....	135
C.2 FORMATO DEL FICHERO DE ENTRADA .....	135
C.3 FORMATO DEL FICHERO DE INFORME DE RESULTADOS.....	173
C.4 FORMATO DEL FICHERO DE SALIDA BINARIO.....	176
<b>APÉNDICE D - ALGORITMOS DE CÁLCULO.....</b>	<b>181</b>
D.1 ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	181
D.2 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA .....	188
D.3 REFERENCIAS.....	194



# CAPITULO 1 - INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Qué es EPANET

EPANET es un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodos prolongados del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de suministro a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. EPANET efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nudos, los niveles en los depósitos, y la concentración de las especies químicas presentes en el agua, a lo largo del periodo de simulación discretizado en múltiples intervalos de tiempo. Además de la concentración de las distintas especies, puede también simular el envejecimiento del agua en la red (o tiempo de permanencia) y su procedencia desde las diversas fuentes de suministro.

EPANET se ha concebido como una herramienta de investigación para mejorar nuestro conocimiento sobre el avance y destino final de las diversas sustancias transportadas por el agua, cuando ésta discurre por una red de distribución. Entre las diferentes aplicaciones orientadas al análisis de la redes de distribución, puede citarse el diseño de programas de muestreo, la calibración de un modelo hidráulico, el análisis del cloro residual, o la evaluación de las dosis ingeridas por un abonado. EPANET puede resultar también de ayuda para evaluar diferentes estrategias de gestión dirigidas a mejorar la calidad del agua a lo largo del sistema. Entre estas pueden citarse:

- modificación de los volúmenes de agua tomados desde cada punto, en el caso de redes con varias fuentes de suministro
- modificación del régimen de bombeo, o de llenado y vaciado de los depósitos
- utilización de estaciones de tratamiento secundarias, tales como estaciones de rechloración o depósitos intermedios
- establecimiento de planes de limpieza y reposición de tuberías.

EPANET proporciona un entorno integrado bajo Windows, para la edición de los datos de entrada a la red, la realización de simulaciones hidráulicas y de la calidad del agua, y la visualización de resultados en una amplia variedad de formatos. Entre éstos se incluyen mapas de la red codificados por colores, tablas numéricas, gráficas de evolución y mapas de isolíneas.

## 1.2 Prestaciones para la confección de Modelos Hidráulicos

Dos de los requisitos fundamentales para poder construir con garantías un modelo de la calidad del agua son la amplitud de prestaciones y la precisión del modelo hidráulico utilizado. EPANET contiene un simulador hidráulico muy avanzado que ofrece las siguientes prestaciones:

- no existe límite en cuanto al tamaño de la red que puede procesarse
- las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning
- contempla pérdidas menores en codos, accesorios, etc.
- admite bombas de velocidad fija o variable
- determina el consumo energético y sus costes
- permite modelizar varios tipos de válvulas, tales como válvulas de corte, de retención, y reguladoras de presión o caudal.
- admite depósitos de geometría variable (esto es, cuyo diámetro varíe con el nivel)
- permite considerar diferentes tipos de demanda en los nudos, cada uno con su propia curva de modulación en el tiempo
- puede modelizar salidas de agua cuyo caudal dependa de la presión (p.ej. rociadores)
- admite leyes de control simples, basadas en el valor del nivel en los depósitos o en la hora prefijada por un temporizador, y leyes de control más complejas basadas en reglas lógicas.

## 1.3 Prestaciones para la confección de Modelos de Calidad del Agua

Además de la confección de modelos hidráulicos, EPANET ofrece las siguientes prestaciones para la confección de modelos de calidad:

- modeliza el desplazamiento de trazadores no reactivos por toda la red, a lo largo del tiempo
- modeliza el avance y destino final de las sustancias reactivas cuya concentración o bien crece en el tiempo (p.ej. los subproductos derivados de la desinfección) o bien decrece (p.ej. el cloro residual)
- modeliza el tiempo de permanencia (o envejecimiento) del agua mientras discurre por la red
- permite seguir la evolución en el tiempo de la fracción de caudal que llega a cada nudo de la red procedente de un nudo determinado (análisis de procedencias)
- modeliza las reacciones que tienen lugar tanto en el seno del agua como en las paredes de las tuberías
- permite emplear cinéticas de orden  $n$  para modelizar las reacciones en el seno del agua



- emplea cinéticas de orden cero o de primer orden para modelizar las reacciones en las paredes de las tuberías
- tiene en consideración las limitaciones de transferencia de masa al modelizar las reacciones en las paredes de las tuberías
- admite reacciones de crecimiento o decrecimiento de la concentración de una sustancia hasta llegar a un valor límite
- permite definir coeficientes de reacción globales para toda la red, y modificar éstos posteriormente para determinadas tuberías
- permite correlacionar los coeficientes de velocidad de reacción en la pared de las tuberías con su rugosidad
- permite considerar la inyección en cualquier punto de la red de un caudal másico o de concentración definida, variable en el tiempo
- la evolución de la calidad del agua en los depósitos puede modelizarse como una mezcla homogénea, mediante un modelo de pistón, o como un reactor de dos compartimentos.

Mediante estas prestaciones, EPANET permite estudiar fenómenos relacionados con la calidad del agua tales como:

- la mezcla de agua procedente de diversas fuentes
- el envejecimiento del agua mientras discurre por la red
- la pérdida de cloro residual
- el crecimiento de los subproductos derivados de la cloración
- el seguimiento del avance de un contaminante, tras su intrusión en la red.

#### 1.4 Pasos para Utilizar EPANET

Los pasos a seguir normalmente para modelizar un sistema de distribución de agua con EPANET son los siguientes:

1. Dibujar un esquema de la red de distribución (ver Apartado 6.1) o importar una descripción básica del mismo desde un fichero de texto (ver Apartado 11.4).
2. Editar las propiedades de los objetos que configuran el sistema (ver Apartado 6.4)
3. Describir el modo de operación del sistema (ver Apartado 6.5)
4. Seleccionar las opciones de cálculo (ver Apartado 8.1)
5. Realizar el análisis hidráulico o de calidad del agua (ver Apartado 8.2)
6. Ver los resultados del análisis (ver Capítulo 9).

## 1.5 Acerca del Manual

El Capítulo 2 de este manual describe cómo se instala EPANET y ofrece una guía didáctica sobre su uso. Los lectores que no estén familiarizados con los fundamentos de la modelización de la redes de distribución de agua, pueden consultar el Capítulo 3 antes de entrar en la guía.

El Capítulo 3 proporciona información más detallada sobre cómo EPANET modeliza las redes de distribución. Se discute el comportamiento de los componentes físicos que constituyen la red y las peculiaridades de la información complementaria del modelo, como las curvas de modulación y las leyes de control. También ofrece una visión general sobre cómo se lleva a cabo la simulación numérica del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua.

En el Capítulo 4 se muestra cómo está organizado el espacio de trabajo de EPANET. Se describen las funciones de las distintas opciones de menú y botones de las barras de herramientas, así como el uso de las tres ventanas principales de la aplicación: el Esquema de la Red, el Visor y el Editor de Propiedades.

El Capítulo 5 versa sobre los ficheros asociados a un proyecto, los cuales almacenan toda la información contenida en un modelo de EPANET de una red de distribución de agua. Se muestra cómo crear, abrir y guardar estos ficheros, y también cómo establecer las opciones por defecto del proyecto. Se indica asimismo la forma de registrar los ficheros de datos de calibración, los cuales serán utilizados posteriormente para contrastar los resultados de la simulación con las medidas de campo.

En el Capítulo 6 se describe la forma de construir el modelo de una red de distribución de agua con EPANET. Se muestra cómo crear los diferentes componentes físicos que configuran el sistema (tuberías, bombas, válvulas, nudos de caudal, depósitos, etc), cómo editar sus propiedades, y cómo configurar el modo en que las demandas del sistema y el estado de los elementos de regulación de la red van a cambiar con el tiempo.

El Capítulo 7 explica cómo utilizar el esquema de la red, el cual representa de forma gráfica el sistema a modelizar. Se pasa revista a las formas de visualizar los distintos parámetros de diseño o resultados sobre el esquema mediante códigos de colores, a las operaciones de reescalado, acercamiento o alejamiento del esquema, la localización de objetos sobre el mapa, así como a todas las opciones disponibles para personalizar la apariencia del esquema.

El Capítulo 8 muestra cómo realizar un análisis hidráulico o de la calidad del agua. Se describen las distintas opciones que permiten controlar el modo de efectuar los cálculos y se ofrecen algunas pistas para la interpretación de fallos al examinar los resultados.

En el Capítulo 9 se discuten otras formas de analizar los resultados de una simulación. Entre ellas se incluyen diferentes vistas del esquema de la red, distintos tipos de gráficos y tablas, y diversos informes específicos.

El Capítulo 10 explica cómo imprimir y copiar las distintas formas de visualizar los resultados, discutidas en el Capítulo 9.





El Capítulo 11 describe cómo EPANET puede importar y exportar escenarios de proyecto. Un escenario es un subconjunto de datos que caracteriza las condiciones actuales bajo las cuales se está analizando la red (p.ej. demandas de los usuarios, leyes de operación, coeficientes de reacción de las sustancias químicas en el agua, etc). También se muestra cómo guardar todos los datos que configuran la base de datos del proyecto en un fichero de texto editable y cómo exportar el esquema de la red en diversos formatos.

En el Capítulo 12 se responde a una serie de cuestiones relativas a la forma de utilizar EPANET para modelizar ciertas situaciones de interés práctico, como la presencia de un calderín hidroneumático, la determinación del caudal máximo extraíble en un nudo bajo unas condiciones de presión dadas, o la modelización del crecimiento de los subproductos derivados de la cloración.

Este manual contiene también algunos apéndices. El Apéndice A proporciona una tabla con las unidades utilizadas para expresar todos los parámetros de diseño y variables calculadas. El Apéndice B es una lista de códigos de mensajes de error que puede emitir el programa, junto con su significado. El Apéndice C muestra cómo EPANET se puede utilizar en modo comando desde una ventana DOS, y se discute el formato de los ficheros a utilizar bajo este modo de operación. Finalmente, el Apéndice D ofrece detalles de los procedimientos y fórmulas utilizados por EPANET en los algoritmos de cálculo, tanto hidráulicos como de calidad.



## CAPITULO 2 - GUIA RÁPIDA

---

*Este capítulo ofrece una guía rápida para la utilización de EPANET. Si no está familiarizado con los elementos que componen un sistema de distribución de agua, y cómo éstos se representan para configurar el modelo de la red, es conveniente que repase antes los dos primeros apartados del Capítulo 3.*

### 2.1 Instalación de EPANET (versión española)

La Versión 2 de EPANET está diseñada para trabajar bajo los sistemas operativos Windows 95/98/NT en ordenadores personales compatibles IBM/Intel. La traducción al español de esta versión se distribuye en un solo fichero, **en2setup\_esp.exe**<sup>1</sup>, el cual contiene un programa de instalación auto-extraíble. Para instalar la versión española de EPANET:

1. Seleccionar **Ejecutar....** desde el *Menú de Inicio* de Windows.
2. Introducir la ruta completa y el nombre del fichero **en2setup\_esp.exe**, o bien pulsar el botón **Examinar** para localizarlo en su ordenador.
3. Pulsar el botón **Aceptar** para comenzar el proceso de instalación.

El programa de instalación le preguntará que elija una carpeta (directorio) para ubicar los ficheros de EPANET. La carpeta por defecto es **c:\Archivos de programa\EPANET2\_Esp**. Finalizada la instalación, en su *Menú de Inicio* aparecerá una nueva entrada denominada EPANET 2.0 Esp. Para ejecutar EPANET simplemente seleccionar esta entrada, y a continuación la opción EPANET 2.0 Esp del submenú mostrado. (El nombre del fichero ejecutable que lanza la versión española de EPANET bajo Windows es **epanet2w\_esp.exe**.)

Si quisiera eliminar la versión española de EPANET de su ordenador, se recomienda seguir el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar **Configuración...** del *Menú de Inicio* de Windows.
2. Seleccionar **Panel del Control** del menú de elementos configurables.
3. Efectuar una doble pulsación sobre el icono **Añadir o quitar programas**.
4. Seleccionar EPANET 2.0 Esp de la lista de programas ofrecida.
5. Pulsar el botón **Agregar o quitar...**

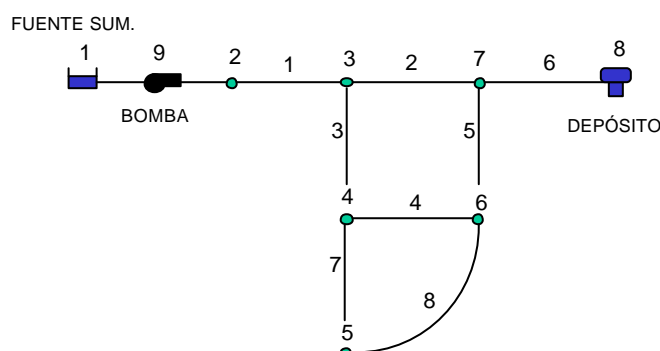
***Nota.** La versión española de EPANET es totalmente compatible con la original en inglés a todos los efectos. Ambas pueden coexistir y pueden ejecutar los mismos ficheros de datos. (NdT)*

---

<sup>1</sup> La versión española de todos los ficheros afectados por la traducción, se caracteriza por llevar la terminación **\_esp** añadida al nombre del fichero (NdT)

## 2.2 Red de Ejemplo

A lo largo de esta guía analizaremos la red de distribución sencilla mostrada en la figura 2.1. Consta de un depósito de nivel constante (p. ej. la galería de agua filtrada de una planta de tratamiento de agua potable), desde el cual se bombea el agua a la red de distribución, constituida por dos mallas. En el extremo opuesto hay un depósito elevado de compensación, conectado a la red a través de una tubería única. Los identificativos de cada uno de los componentes se indican en la figura. Las características de los nudos se detallan en la Tabla 2.1, y las de las tuberías en la Tabla 2.2. Además, se sabe que la bomba (línea 9) puede comunicar un altura de 150 pies a un caudal de 600 gpm. El depósito elevado (Nudo 8) tiene un diámetro de 60 pies, el nivel inicial del agua en el mismo es de 4 pies y el nivel máximo permitido de 20 pies<sup>2</sup>.



**Figura 2.1** Red de Ejemplo

**Tabla 2.1** Propiedades de los Nudos de la Red Ejemplo

Nudo	Cota (ft)	Demanda (gpm)
1	700	0
2	700	0
3	710	150
4	700	150
5	650	200
6	700	150
7	700	0
8	830	0

**Tabla 2.2** Propiedades de las Tuberías de la Red Ejemplo

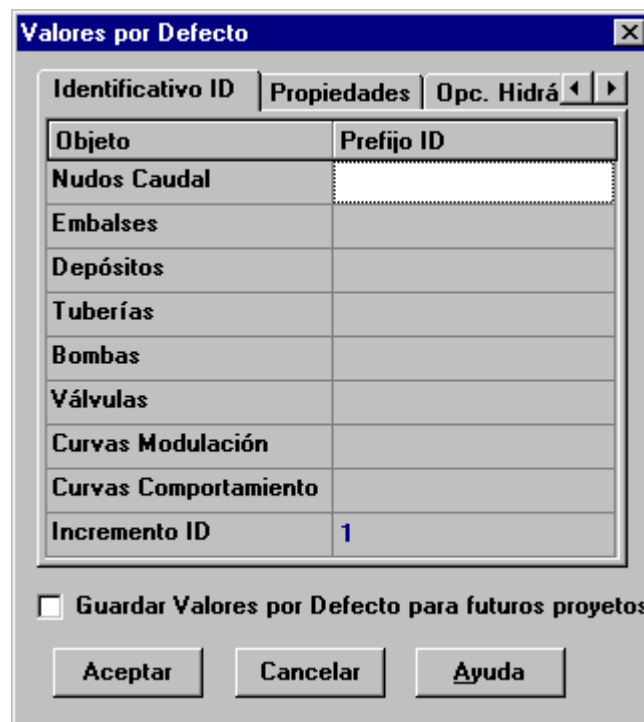
Tubería	Longitud (pies)	Diámetro (pulg)	Coef. C
1	3000	14	100
2	5000	12	100
3	5000	8	100
4	5000	8	100
5	5000	8	100
6	7000	10	100
7	5000	6	100
8	7000	6	100

<sup>2</sup> Si bien en los países de habla hispana es de uso común el SI, por compatibilidad con la versión inglesa se ha preferido mantener en la traducción las unidades US originales del ejemplo.



## 2.3 Configuración del Proyecto

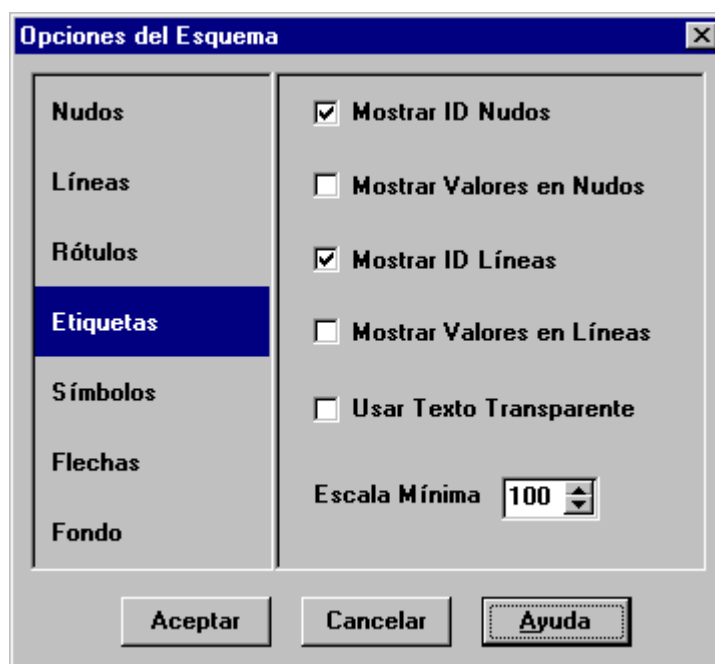
El primer paso va a ser crear un nuevo proyecto en EPANET y comprobar que las opciones por defecto son las deseadas. Para comenzar el ejercicio, lanzar EPANET si no está ya en ejecución, y seleccionar en la barra de menús la opción **Archivo >> Nuevo** para crear un nuevo proyecto. A continuación seleccionar **Proyecto >> Valores por Defecto** para abrir el diálogo mostrado en la Figura 2.2. Utilizaremos este diálogo para dejar que EPANET ponga el identificativo automáticamente a los nuevos objetos a medida que son añadidos a la red, asignándoles números consecutivos a partir del 1. Para ello, en la página del diálogo etiquetada con *Identificativos ID*, borrar todos los prefijos y fijar el *Incremento ID* en 1. A continuación seleccionar la página de *Opc. Hidráulicas* del mismo diálogo y elegir la opción GPM (galones por minuto) para las *Unidades de Caudal*. Ello conlleva que las unidades convencionales US sean utilizadas también para las restantes magnitudes (longitudes en pies, diámetros de tubería en pulgadas, presiones en psi, etc)<sup>3</sup>. Seleccionar igualmente la *Fórmula de Hazen-Williams (H-W)* para el cálculo de las pérdidas de carga. Si se desea guardar todas estas opciones para futuros proyectos, validar la casilla **Guardar** que figura al pie del diálogo, antes de asumirlas definitivamente con el botón **Aceptar**.



**Figura 2.2** Diálogo de Valores por Defecto para todo el Proyecto

A continuación seleccionaremos algunas opciones relativas a la visualización del esquema, de modo que al añadir objetos al mismo podamos ver sus símbolos e identificativos inmediatamente. Para abrir el diálogo *Opciones del Esquema*, seleccionar **Ver >> Opciones** del menú principal. Seleccionar ahora la página *Etiquetas* de dicho diálogo y habilitar las opciones mostradas en la figura 2.3.

<sup>3</sup> 1 gpm (US) = 3,785 lpm = 0,0631 l/s; 1 pie = 0,305 metros; 1 pulgada = 0,0254 metros; 1 psi (libra por pulgada cuadrada) = 0,703 m.c.a. (NdT)



**Figura 2.3** Diálogo de Opciones para el Esquema de la Red


A continuación pasar a la página *Símbolos* y habilitar todas las opciones. Pulsar finalmente el botón **Aceptar** para ratificar todas las opciones y cerrar el diálogo.


Finalmente, antes de dibujar nuestra red deberemos comprobar que la escala fijada para el esquema es adecuada. Seleccionar **Ver >> Dimensiones** en el menú principal para abrir el diálogo *Dimensiones del Área de Dibujo*, y observar las coordenadas asignadas por defecto para el área de trazado de la red del nuevo proyecto. Admitiremos que son suficientes para este ejemplo, de modo que pulsaremos el botón **Aceptar**.


## 2.4 Dibujo de la Red

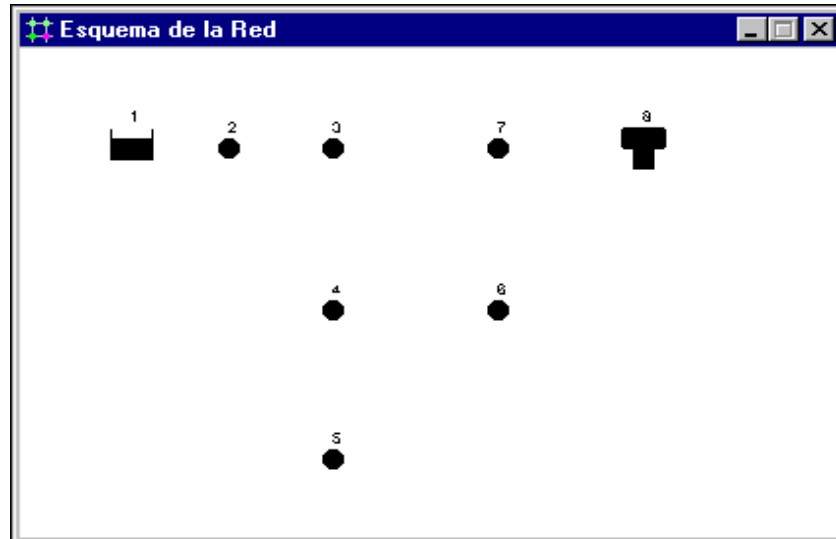
Estamos ahora preparados para dibujar la red haciendo uso del ratón y de los botones de la *Barra de Herramientas del Esquema*, la cual se muestra a continuación (si la Barra no estuviera visible, seleccionar **Ver >> Barra Herramientas >> Esquema**).




Primero que nada añadiremos la galería de agua. Pulsar el botón *Embalse* , y a continuación marcar con el ratón su posición sobre el área de dibujo (hacia la izquierda de la misma).

Ahora añadiremos los nudos de caudal. Pulsar el botón *Nudo de Caudal*  y marcar con el ratón sobre el área de dibujo las posiciones de los nudos 2 a 7.


Finalmente añadir el depósito pulsando el botón *Depósito*  y marcando sobre el área de dibujo su posición con el ratón. En este momento el Esquema de la Red debe asemejarse al mostrado en la figura 2.4.




**Figura 2.4** Esquema de la red después de añadir los Nudos


A continuación añadiremos las tuberías. Comenzaremos con la tubería 1, que conecta los nudos 2 y 3. Primeramente pulsar el botón *Tubería*  de la Barra de Herramientas. A continuación pulsar con el ratón el nudo 2 del esquema, y seguidamente el nudo 3. Mientras se desplaza el ratón del nudo 2 al 3 se observará un trazado provisional de la tubería. Repetir el mismo procedimiento para las tuberías 2 a 7.

A diferencia de las anteriores, la tubería 8 está curvada. Para dibujarla pulsar con el ratón primero sobre el nudo 5. A continuación, mientras se desplaza el ratón hacia el nudo 6, pulsar con el ratón en aquellos puntos en los que se requiera un cambio de dirección para darle a la tubería el trazado deseado. El proceso se completa pulsando sobre el nudo 6.



Finalmente, añadiremos la bomba. Pulsar el botón *Bomba* , seguidamente marcar con el ratón el nudo 1, y a continuación el nudo 2.

Ahora añadiremos tres rótulos para identificar la galería, la bomba y el depósito.

Seleccionar el botón *Texto*  de la Barra de Herramientas del Esquema, y pulsar en un punto cerca del embalse (Nudo 1). Aparecerá en seguida una caja de texto. Introducir la palabra FUENTE SUM. y pulsar la tecla **Intro**. Pulsar a continuación en otro punto cerca de la bomba e introducir el rótulo correspondiente, y hacer lo mismo para el depósito. Finalmente, pulsar el botón

*Seleccionar*  de la Barra de Herramientas para dejar el esquema en el modo *Seleccionar Objetos* en lugar del modo *Insertar Texto*.

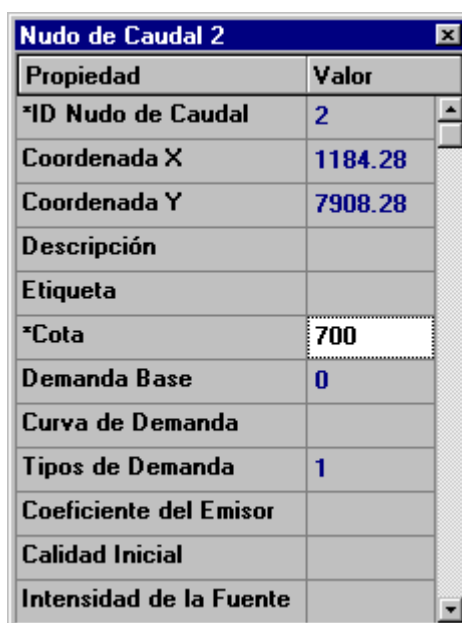
En este momento habremos completado el dibujo de la red ejemplo. El *Esquema de la Red* debe mostrar una apariencia como la de la Figura 2.1 Si los nudos no hubieran quedado bien situados, pueden desplazarse pulsando sobre el nudo con el botón izquierdo del ratón para seleccionarlo, y arrastrándolo a continuación hasta su nueva posición sin soltar el botón del ratón. Observar cómo las tuberías conectadas al nudo se mueven con él. Los rótulos pueden también reubicarse de modo similar. Para modificar el trazado de la tubería 8 proceder del siguiente modo:

1. Pulsar primero con el ratón sobre la tubería 8 para seleccionarla, y a continuación pulsar el botón  de la Barra de Herramientas para poner el Esquema en el modo *Seleccionar Vértice*.
2. Seleccionar un vértice sobre la tubería pulsando sobre él con el ratón, y arrastrarlo hasta su nueva posición, manteniendo el botón del ratón pulsado.
3. Si fuera necesario, se pueden añadir o borrar vértices de la tubería pulsando el botón derecho del ratón y eligiendo la opción adecuada del menú emergente.
4. Al terminar, pulsar el botón  para volver al modo *Seleccionar Objeto*.

## 2.5 Introducción de las Propiedades de los Objetos

A medida que los objetos son añadidos al proyecto, éstos adquieren automáticamente las propiedades por defecto. Para cambiar el valor de una propiedad determinada de un objeto, éste debe seleccionarse antes con el *Editor de Propiedades* (figura 2.5). Existen diversas formas de hacerlo. Si el Editor ya está visible, bastará pulsar sobre el objeto elegido o seleccionarlo desde el *Visor de Datos*. Si el Editor no está visible, se puede abrir de alguna de las siguientes maneras:

- Efectuando una doble pulsación con el ratón sobre el objeto en el esquema.
- Pulsando el botón derecho del ratón sobre el objeto y eligiendo la opción **Propiedades** del menú emergente.




Propiedad	Valor
*ID Nudo de Caudal	2
Coordenada X	1184.28
Coordenada Y	7908.28
Descripción	
Etiqueta	
*Cota	700
Demanda Base	0
Curva de Demanda	
Tipos de Demanda	1
Coefficiente del Emisor	
Calidad Inicial	
Intensidad de la Fuente	

Figura 2.5 El Editor de Propiedades






- Seleccionando el objeto desde el *Visor de Datos*, y pulsando sobre el botón *Editar*  de dicha ventana (o bien efectuando una doble pulsación sobre el mismo).

Una vez seleccionado el objeto sobre el *Editor de Propiedades*, pulsando la tecla F1 se obtiene una descripción completa de todas las propiedades listadas.

Vamos a comenzar la edición seleccionando el nudo 2 sobre el Editor de Propiedades, tal como se ha descrito antes. Introduciremos ahora la *Cota* y la *Demanda Base* de este nudo (ver Tabla 2.1) en los campos apropiados. Para movernos de un campo a otro se pueden utilizar las flechas **Arriba** y **Abajo** del teclado o bien el ratón. Basta ahora pulsar sobre otro objeto (nudo o línea) para que sus propiedades aparezcan en el Editor de Propiedades. (También se pueden utilizar las teclas **AvPág** y **RePág** para pasar al objeto del mismo tipo inmediatamente anterior o posterior en la base de datos). De este modo nos iremos desplazando de un objeto a otro, rellenando la *Cota* y la *Demanda Base* en el caso de los nudos, y la *Longitud*, *Diámetro* y *Rugosidad* (factor *C* de H-W) en el caso de las líneas (ver Tabla 2.2).

Para la galería de agua filtrada, habrá que introducir su cota (700 pies) en el campo *Altura Total*. Para el depósito introduciremos como *Cota de Solera* 830 pies, como *Nivel Inicial* 4 pies, como *Nivel Mínimo* 0 pies, como *Nivel Máximo* 20 pies y como *Diámetro* 60 pies. En el caso de la bomba, necesitaremos asignarle una curva característica (o relación altura – caudal), para lo cual introduciremos el identificativo 1 en el campo correspondiente a la *Curva Característica*.

A continuación tendremos que crear la Curva de la Bomba 1. Para ello, desde el *Visor de Datos* seleccionar la opción *Curvas Comport.* de la lista desplegable y

pulsar el botón *Añadir* . Se añadirá una nueva Curva a la base de datos, con el identificativo 1, y se abrirá el diálogo del *Editor de Curvas de Comportamiento* (ver Figura 2.6). Introducir el *Caudal* nominal (600 gpm) y la *Altura* nominal (150 pies) de la bomba en el formulario. EPANET automáticamente creará una curva completa de la bomba a partir de su punto nominal, cuya forma y ecuación pueden observarse en el mismo formulario. Pulsar finalmente el botón **Aceptar** para cerrar el Editor.

## 2.6 Guardar y Reabrir el Proyecto

Una vez completado el diseño inicial de la red, no está de más guardar todos los datos antes de seguir adelante.

1. Desde el menú **Archivo** seleccionar la opción **Guardar como**.
2. En el diálogo Guardar Como, seleccionar una carpeta y un nombre de fichero para guardar el proyecto. Como sugerencia, puede guardarse con el nombre **tutorial\_esp.net**. (La extensión **.net** será añadida si no se declara.)
3. Pulsar **Aceptar** para guardar el proyecto en dicho fichero.

Los datos del proyecto serán almacenados en el fichero en un formato binario especial. Si se quiere guardar los datos en un fichero de texto legible, utilizar la orden **Archivo >> Exportar >> Red** en lugar de la anterior.

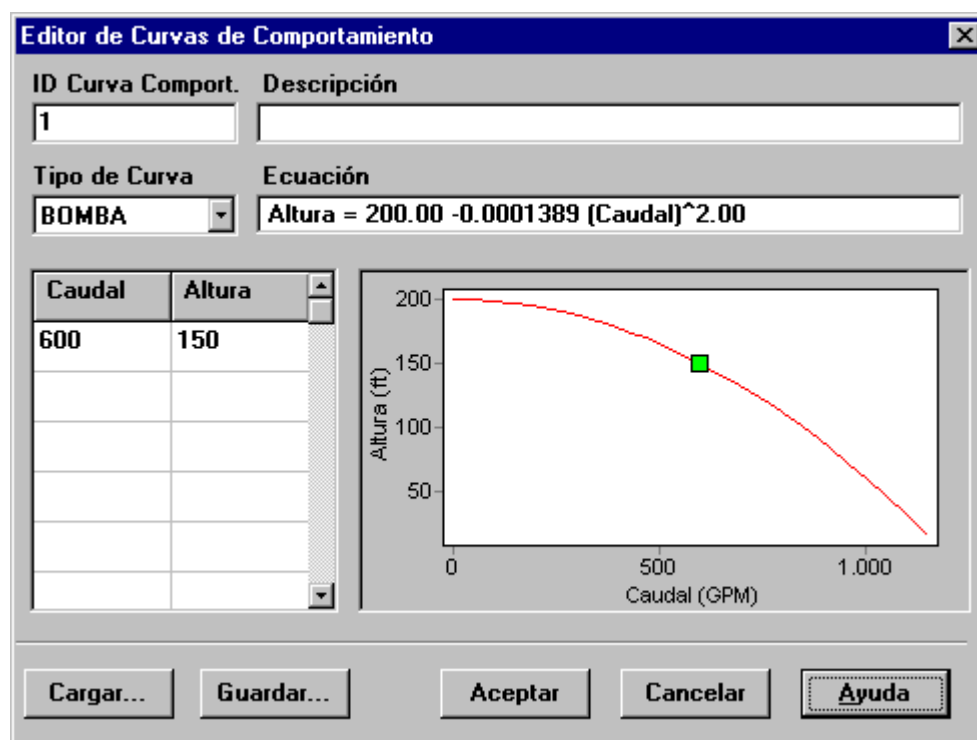



Figura 2.6 El Editor de Curvas

Para abrir el proyecto de nuevo más tarde, seleccionar la orden **Abrir** del menú **Archivo**.

## 2.7 Análisis en Régimen Permanente


Disponemos ahora de la información suficiente para llevar a cabo una simulación del comportamiento hidráulico de nuestra red ejemplo en régimen permanente (o bien para un instante determinado). Para ello seleccionar la opción **Proyecto >>**

**Calcular** de la barra de menús o pulsar el botón *Calcular*  de la Barra de Herramientas Estándar. (Si la Barra de Herramientas no estuviera visible, seleccionar **Ver >> Barra Herramientas >> Estándar** en la barra de menús).

Si la simulación no tuviera éxito, aparecería la ventana de *Informe de Estado* indicando cuál ha sido el problema. Si la simulación es correcta, los resultados pueden verse ahora en una amplia variedad de formatos. Probemos algunos de ellos:

- Seleccionar la opción *Presión* en el desplegable *Nudos* del *Visor del Esquema* y observar cómo se colorean los nudos, codificados por el valor de la presión. Para ver la leyenda con los códigos de colores aplicados, si ésta no estuviera ya visible, seleccionar **Ver >> Leyendas >> Nudos** (o pulsar el botón derecho del ratón en cualquier zona vacía del esquema y seleccionar la opción *Leyenda Nudos* del menú emergente). Para cambiar los intervalos o bien los colores aplicados, pulsar con el botón derecho del ratón sobre la leyenda y abrir el *Editor de Leyendas*.



- Abrir el *Editor de Propiedades* (realizar una doble pulsación sobre cualquier nudo o línea) y observar que los resultados calculados aparecen al final de la lista de propiedades.
- Crear una lista tabulada con algunos resultados seleccionando la opción del menú **Informes >> Tablas** (o bien pulsando el botón *Tabla*  de la Barra de Herramientas Estándar). La figura 2.7 muestra una tabla con los resultados de las líneas para este caso. Los caudales con signo negativo indican que el flujo va en dirección opuesta a aquella en que se dibujó la tubería inicialmente.

ID Línea	Caudal GPM	Velocidad fps	Pérdida Unit. ft/Kft	Estado
Tubería 1	617.42	1.29	0.80	Abierta
Tubería 2	382.51	1.09	0.69	Abierta
Tubería 3	159.91	1.02	1.00	Abierta
Tubería 4	29.34	0.19	0.04	Abierta
Tubería 5	-90.09	0.57	0.34	Abierta
Tubería 6	292.42	1.19	1.03	Abierta
Tubería 7	55.58	0.63	0.57	Abierta
Tubería 8	-44.42	0.50	0.38	Abierta
Bomba 9	617.42	0.00	-147.05	Abierta

Figura 2.7 Tabla con los Resultados en las Líneas

## 2.8 Análisis en Periodo Extendido

Para convertir nuestro modelo en un caso más realista y llevar a cabo una simulación en periodo extendido<sup>4</sup> vamos a crear una Curva de Modulación para hacer que las demandas en los nudos varíen de forma periódica a lo largo del día. Para este ejemplo sencillo, aplicaremos una curva de modulación con un intervalo de 6 horas, de modo que la demanda cambie cuatro veces por día (una curva de modulación horaria es más usual, siendo éste el intervalo asignado por defecto al crear un proyecto). Para fijar el intervalo de tiempo seleccionamos *Opciones – Tiempos* en el *Visor de Datos*, pulsamos a continuación el botón *Editar* del propio Visor (o hacemos una doble pulsación sobre la selección) para abrir el *Editor de Propiedades*, e introducimos el valor 6 en el campo *Intervalo Curvas Modulación*, como se muestra en la figura 2.8. Aprovechando que tenemos abierto el editor de *Opciones de Tiempo*, podemos imponer a continuación la duración total de la simulación, que fijaremos en 3 días (introducir 72 horas en el campo *Duración Total*).

<sup>4</sup> la denominación ‘periodo extendido’ equivale a una sucesión de estados permanentes, en la que los niveles de los depósitos son actualizados tras cada etapa (NdT)

Opciones de Tiempos	
Propiedad	Hr:Min
Duración Total	72
Intervalo Cálculo Hidráulico	1:00
Intervalo Cálculo Calidad	0:05
Intervalo Curvas Modulación	6:00
Hora Inicio Curvas Modulación	0:00

Figura 2.8 Opciones de Tiempos

Para crear ahora la curva de modulación, seleccionamos la categoría *Curvas Modulac.* sobre el Visor y pulsamos el botón *Añadir*. Se creará una nueva curva con el identificativo 1, y se abrirá el *Editor de Curvas de Modulación* (ver Figura 2.9). Introducir los multiplicadores 0.5, 1.3, 1.0 y 1.2 para los intervalos 1 a 4, con lo que cubriremos un total de 24 horas. Los multiplicadores se aplican sobre la demanda base para modificar su valor en cada intervalo. Puesto que la duración total de la simulación es de 72 horas, el patrón anterior se repetirá cada 24 horas.

Editor de Curvas de Modulación								
ID Curva Modulac.	Descripción							
1								
Período	1	2	3	4	5	6	7	8
Multiplicador	0.5	1.3	1.0	1.2				

Medida = 1.00


Período (1 Período = 6:00 h)




Cargar... Guardar... Aceptar Cancelar Ayuda

Figura 2.9 Editor de Curvas de Modulación

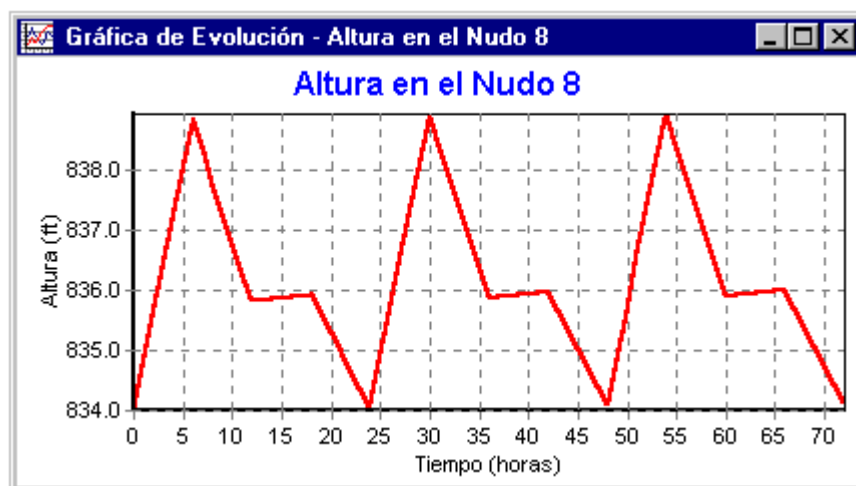
Ahora necesitamos asignar la Curva de Modulación 1 a la propiedad *Curva de Demanda* de todos los nudos de la red. A tal fin podemos hacer uso de una de las Opciones Hidráulicas de EPANET, evitando así tener que editar todos los nudos individualmente. Si se llevan las *Opciones Hidráulicas* al Editor de Propiedades se observará que hay un campo denominado *Curva Modulac. por Defecto*. Si introducimos en él un 1, la Curva de Modulación de la Demanda de todos los nudos pasará a ser la 1, ya que no existe otra curva asignada específicamente a ningún nudo.



A continuación podemos realizar ya la simulación (seleccionar **Proyecto >> Calcular** o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar). En un análisis en periodo extendido existen diversos modos de observar los resultados:

- La barra de deslizamiento situada bajo el recuadro *Instante* del *Visor del Esquema* permite observar el esquema de la red codificado por colores para diversos instantes de la simulación. Probar a observar las *Presiones* en los nudos y los *Caudales* en las líneas seleccionando dichas magnitudes en los desplegables correspondientes.
- Los botones de vídeo del Visor permiten animar el esquema para ver los resultados a través del tiempo. Pulsar el botón de *Avance*  para iniciar la animación y el botón *Parar*  para detenerla.
- Añadir flechas para indicar la dirección de flujo sobre el esquema (seleccionar **Ver >> Opciones**, seleccionar la página *Flechas* del diálogo de *Opciones del Esquema* y validar el estilo de flecha deseado). A continuación animar de nuevo la simulación y observar el cambio de dirección del flujo en la tubería que conecta con el depósito, a medida que éste se llena y se vacía.
- Crear una curva de evolución de las magnitudes asociadas a cualquier nudo o línea. Por ejemplo, para ver cómo cambia el nivel del agua en el depósito con el tiempo:
  1. Pulsar sobre el símbolo del depósito.
  2. Seleccionar **Informes >> Gráficos** (o pulsar el botón *Gráficos*  de la Barra de Herramientas Estándar) y se abrirá el diálogo de *Selección de la Gráfica*.
  3. Seleccionar en dicho diálogo el botón *Curva Evolución*.
  4. Seleccionar la *Altura* como magnitud a representar.
  5. Pulsar **Aceptar** para validar la elección realizada y ver la curva correspondiente.

Observar el comportamiento periódico de las variaciones de nivel del agua en el depósito (Figura 2.10).



**Figura 2.10** Ejemplo de una Curva de Evolución

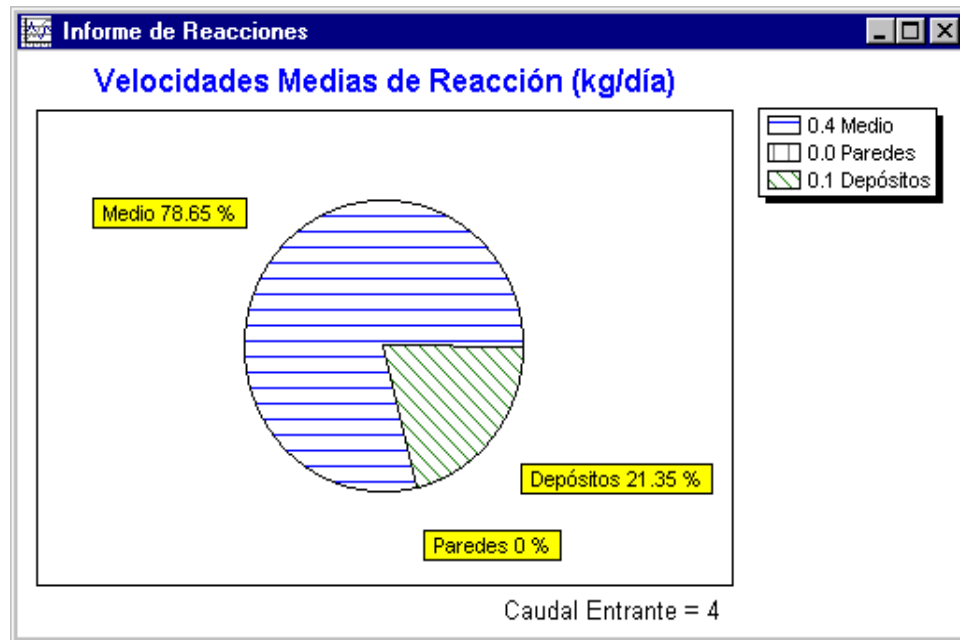
## 2.9 Análisis de la Calidad del Agua

A continuación vamos a ver cómo se puede ampliar el análisis anterior para incorporar un modelo de calidad. El caso más simple consiste en realizar un seguimiento del tiempo de permanencia del agua en la red mientras viaja a través de la misma. Para realizar este análisis basta seleccionar la opción *Tiempo Perm.* para la propiedad *Tipo Modelo Calidad* en el diálogo de *Opciones de Calidad* (para abrir dicho diálogo, seleccionar *Opciones-Calidad* en el *Visor de Datos* y pulsar el botón *Editar* del mismo). A continuación ejecutar la simulación y seleccionar el parámetro *Tiempo Perm.* en el desplegable del *Visor del Esquema*, para ver los resultados sobre el esquema. Generar asimismo la Curva de Evolución del Tiempo de Permanencia en el depósito. Observar cómo, a diferencia del nivel del agua, con 72 horas de simulación no es suficiente para obtener un comportamiento periódico del tiempo de permanencia del agua en el depósito (la condición inicial era comenzar con un tiempo 0 para todos los nudos). Intentar repetir ahora la simulación con una duración de 240 horas, o bien asignando un tiempo inicial de permanencia de 60 horas en el depósito (introducir para ello el valor 60 en la celda *Calidad Inicial* del Editor de Propiedades para el depósito).

Para concluir este repaso, vamos a simular el transporte y decaimiento del cloro a través de la red. Introducir para ello los siguiente cambios en la base de datos:

1. Seleccionar la categoría *Opciones-Calidad* en el *Visor de Datos* y abrir el Editor de Propiedades correspondiente. En el campo *Tipo Modelo Calidad* introducir la palabra *Cloro*.
2. Pasar ahora a la categoría *Opciones-Reacciones* desde el mismo Visor. Introducir como *Coef. Global Reacc. Medio* el valor -1.0. Este dato refleja la velocidad a la cual disminuye la concentración de cloro debido a las reacciones que ocurren en el propio seno del agua. El mismo coeficiente será aplicado a todas las tuberías de la red, si bien se puede editar individualmente para cada tubería si fuera necesario.
3. Pulsar ahora sobre el embalse y poner su *Calidad Inicial* a 1 (1 mg/l). Este valor indica la concentración de cloro que entra continuamente a la red. (Restablecer la calidad inicial en el depósito al valor 0 si se hubiera cambiado)

Ahora ejecutar de nuevo la simulación. Utilizar la barra del *Instante* del *Visor del Esquema* para ver cómo va cambiando la concentración de cloro a través de la red y a lo largo del tiempo. Observar cómo para esta red tan simple los nudos 5, 6 y 7 presentan niveles bajos de cloro debido a que se alimentan con agua procedente del depósito, la cual pierde allí, durante su estancia, gran parte del cloro con que entró. Crear finalmente un informe de las reacciones habidas durante esta simulación seleccionando **Informes >> Reacciones** desde el menú principal. Dicho informe debe parecerse al mostrado en la Figura 2.11, para un periodo de simulación de 72 horas. En él se muestra cuánto cloro se pierde por término medio en las tuberías, frente al que se pierde en el depósito. El rótulo de la leyenda “Medio” hace referencia a las reacciones que ocurren en el seno del agua, mientras que el rótulo “Pared” hace referencia a las reacciones que ocurren con la capa que recubre las paredes de las tuberías. Este último valor es cero, dado que no se especificó ningún coeficiente de reacción con las paredes en este ejemplo.



**Figura 2.11** Ejemplo de Informe de las Reacciones del cloro habidas en la red

A través de este ejemplo hemos visto solo unas pocas de las muchas prestaciones que ofrece EPANET. Algunas de las características adicionales con las cuales se puede experimentar son las siguientes:

- Editar una propiedad para un grupo de objetos que caen dentro de un área delimitada por el usuario.
- Aplicar Leyes de Control para regular el modo de operación de las bombas en base a la hora real o al nivel de agua en los depósitos.
- Explorar diferentes Opciones de visualización del Esquema de la Red, tales como representar el tamaño de los nudos en función del valor que toma una magnitud asociada.
- Superponer un mapa de fondo (p. ej. un mapa de calles) detrás del esquema de la red.
- Crear diferentes tipos de gráficas, tales como perfiles longitudinales o mapas de isolíneas.
- Añadir datos de medidas de campo a un proyecto y obtener un informe sobre la bondad de la calibración.
- Copiar el esquema de la red, una gráfica o un informe al portapapeles, o bien a un fichero.
- Guardar y recuperar un escenario de diseño (p. ej. las demandas actuales en los nudos, los valores de la rugosidad en las tuberías, etc).





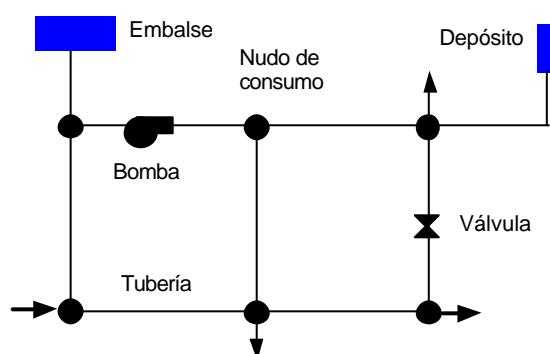
## CAPITULO 3 - EL MODELO DE LA RED

---

En este capítulo se describe el modo en que EPANET modeliza los distintos componentes físicos y no físicos que configuran un sistema de distribución de agua, y sus parámetros operacionales. En capítulos posteriores se tratará con más detalle el modo de introducir estos componentes desde el programa. Se ofrece también una visión general de los métodos de cálculo que emplea EPANET para simular el comportamiento hidráulico de la red y la evolución de la calidad del agua en la misma.

### 3.1 Componentes físicos

EPANET modeliza un sistema de distribución de agua como un conjunto de líneas conectadas a los nudos. Las líneas representan tuberías, bombas, o válvulas de control. Los nudos representan puntos de conexión entre tuberías o extremos de las mismas, con o sin demandas (en adelante los denominaremos en general *Nudos de Caudal*), y también depósitos o embalses. La figura siguiente muestra cómo se interconectan estos objetos entre sí para formar el modelo de una red.



**Figura 3.1** Componentes físicos de un Sistema de Distribución de Agua

#### Nudos de Caudal

Los nudos de caudal son los puntos de la red donde confluyen las tuberías, y a través de los cuales el agua entra o sale de la misma (también pueden ser sólo puntos de paso). Los datos básicos imputados a los nudos son:

- la cota respecto a un nivel de referencia (usualmente el nivel del mar)
- la demanda de agua (flujo que abandona la red)
- la calidad inicial del agua

Los resultados obtenidos para los nudos, en cada uno de los periodos de simulación son:

- la altura piezométrica (energía interna por unidad de peso del fluido, o bien suma de la cota más la altura de presión)
- la presión
- la calidad del agua

Los nudos de caudal pueden también:

- presentar una demanda variable en el tiempo
- tener asignados distintos tipos de demanda (doméstica, industrial, etc)
- presentar una demanda negativa, indicando que el caudal entra a la red a través del nudo
- ser punto de entrada de un contaminante a la red
- tener asociado un emisor (o hidrante), cuyo caudal de salida depende de la presión.

### Embalses

Los embalses son nudos que representan una fuente externa de alimentación, de capacidad ilimitada, o bien un sumidero de caudal. Se utilizan para modelizar elementos como lagos, captaciones desde ríos, acuíferos subterráneos, o también puntos de entrada a otros subsistemas. Los embalses pueden utilizarse también como puntos de entrada de contaminantes.

Las propiedades básicas de un embalse son su altura piezométrica (que coincidirá con la cota de la superficie libre del agua si éste se encuentra a la presión atmosférica), y la calidad del agua en el mismo, caso de realizar un análisis de calidad.

Dado que un embalse actúa como un elemento de contorno del sistema, su altura o calidad del agua no se verán afectados por lo que pueda ocurrir en la red. Por consiguiente, no existen resultados derivados del cálculo en los mismos. No obstante, su altura puede hacerse variar con el tiempo asociándole una curva de modulación (ver el epígrafe Curvas de Modulación más adelante).

### Depósitos

Los depósitos son nudos con cierta capacidad de almacenamiento, en los cuales el volumen de agua almacenada puede variar con el tiempo durante la simulación. Los datos básicos de un depósito son:

- la cota de solera (para la cual el nivel del agua es cero)
- el diámetro (o su geometría si no es cilíndrico )
- el nivel del agua inicial, mínimo y máximo
- la calidad inicial del agua.

Los principales resultados asociados a un depósito, a lo largo de la simulación, son:

- la altura piezométrica (cota de la superficie libre)
- la calidad del agua.

El nivel del agua en los depósitos debe oscilar entre el nivel mínimo y el nivel máximo. EPANET impide la salida del agua del depósito cuando está a su nivel mínimo y cierra la entrada de agua cuando está a su nivel máximo. Los depósitos también pueden utilizarse como puntos de entrada de contaminantes a la red.



## Emisores

Los emisores son dispositivos asociados a los nudos de caudal que permiten modelizar el flujo de salida a través de una tobera u orificio descargando a la atmósfera. El caudal de salida por un emisor varía en función de la presión disponible en el nudo, conforme a la ecuación:

$$q = C p^{\gamma}$$

donde  $q$  = caudal,  $p$  = presión,  $C$  = coeficiente de descarga, y  $\gamma$  = exponente de la presión. En el caso de las toberas y rociadores el exponente  $\gamma$  toma el valor 0.5 y el coeficiente de descarga viene proporcionado por el fabricante, en unidades  $\text{gpm/psi}^{0.5}$  ( $\text{lps/m}^{0.5}$ ), o lo que es lo mismo, como el caudal que sale por el emisor para una caída de presión en el mismo de 1 psi (1 m).

Los emisores se emplean para simular el caudal que sale a través de un rociador en una red de extinción de incendios, o a través de un hidrante en un sistema de riego a presión. También pueden emplearse para simular una fuga en una tubería conectada al nudo (en este caso el coeficiente de descarga y el exponente de la presión en la fuga deben estimarse) o para calcular el caudal de incendios en un nudo (esto es, el caudal extra que puede suministrarse para una presión residual mínima). Para esto último basta imponer un valor elevado al coeficiente de descarga (p. ej. 100 veces el caudal máximo esperado) y modificar la cota del nudo agregándole el valor de la presión mínima requerida, en pies (m). EPANET interpreta los emisores como una propiedad del nudo, y no como un componente independiente.

## Tuberías

Las tuberías son líneas que transportan el agua de un nudo a otro. EPANET asume que las tuberías están completamente llenas en todo momento, y por consiguiente que el flujo es a presión. La dirección del flujo es siempre del nudo de mayor altura piezométrica (suma de la cota más la presión, o bien energía interna por unidad de peso) al de menor altura piezométrica. Los principales parámetros de una tubería son:

- los nudos inicial y final
- el diámetro
- la longitud
- el coeficiente de rugosidad (para calcular las pérdidas de carga)
- su estado (abierta, cerrada, o con válvula de retención).

El parámetro de estado permite simular el hecho de que una tubería posea válvulas de corte o válvulas de retención (válvulas que permiten el paso del flujo en un solo sentido) sin tener que modelizar estos elementos explícitamente.

Los datos de una tuberías relacionados con los modelos de calidad son:

- el coeficiente de reacción en el medio
- el coeficiente de reacción en la pared.

Estos coeficientes son analizados con mayor profundidad en el apartado 3.4

Los resultados en una tubería contemplan:

- el caudal de circulación
- la velocidad del flujo
- la pérdida de carga unitaria
- el factor de fricción para la fórmula de Darcy-Weisbach
- la velocidad media de reacción (a lo largo de la tubería)
- la calidad media del agua (a lo largo de la tubería).

La pérdida de carga (o de altura piezométrica) en una tubería debida a la fricción por el paso del agua, puede calcularse utilizando tres fórmulas de pérdidas diferentes:

- la fórmula de Hazen-Williams
- la fórmula de Darcy-Weisbach
- la fórmula de Chezy-Manning

La fórmula de Hazen-Williams es la más utilizada en EEUU. Sin embargo, no puede utilizarse para líquidos distintos del agua, y fue desarrollada originalmente sólo para flujo turbulento. Desde el punto de vista académico, la fórmula de Darcy-Weisbach es la más correcta, y es aplicable a todo tipo de líquidos y regímenes. Finalmente, la fórmula de Chezy-Manning es utilizada usualmente para canales y tuberías de gran diámetro, donde la turbulencia está muy desarrollada.

Todas las fórmulas emplean la misma ecuación básica para calcular la pérdida de carga entre el nudo de entrada y el de salida:

$$h_L = Aq^B$$

donde  $h_L$  = pérdida de carga (en unid. longitud),  $q$  = caudal (en unid. volumen/tiempo),  $A$  = coeficiente de resistencia, y  $B$  = exponente del caudal. En la Tabla 3.1 se listan las expresiones del coeficiente de resistencia y el valor del exponente del caudal para cada una de las fórmulas de pérdidas indicadas. Cada fórmula utiliza un coeficiente de rugosidad distinto, el cual debe determinarse empíricamente. En la Tabla 3.2 se listan los rangos de variación de estos coeficientes, para tubería nueva de distintos materiales. En la práctica hay que ser conscientes de que el valor de estos coeficientes puede cambiar considerablemente con la edad de las tuberías.

Al aplicar la fórmula de Darcy-Weisbach, EPANET emplea distintos métodos para calcular el factor de fricción  $f$ , dependiendo del tipo de régimen:

- Para flujo laminar ( $Re < 2.000$ ) emplea la fórmula de Hagen-Poiseuille
- Para flujo turbulento ( $Re > 4.000$ ) emplea la aproximación explícita de Swamee y Jain a la fórmula de Colebrook-White
- Para el flujo de transición ( $2.000 < Re < 4.000$ ) aplica una interpolación cúbica al diagrama de Moody

Para ver las ecuaciones realmente empleadas puede consultarse el Apéndice D.

**Tabla 3.1** Fórmulas de Pérdida de Carga para tubería llena (pérdidas en mca y caudal en m<sup>3</sup>/seg)

<i>Fórmula</i>	<i>Coficiente de Resistencia</i> (A)	<i>Expon. Caudal</i> (B)
Hazen-Williams	$10,64 C^{-1,852} d^{-4,871} L$ ( <sup>5</sup> )	1,852
Darcy-Weisbach	$0,0826 f(\epsilon, d, q) d^5 L$ ( <sup>6</sup> )	2
Chezy-Manning	$10,3 n^2 d^{-5,33} L$ ( <sup>7</sup> )	2

donde: C = Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams  
 $\epsilon$  = Coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach (m)  
f = factor de fricción (depende de  $\epsilon$ , d, y q)  
n = Coeficiente de rugosidad de Manning  
d = diámetro de la tubería (m)  
L = longitud de la tubería (m)  
q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

**Tabla 3.2** Coeficientes de Rugosidad para Tubería Nueva

<i>Material</i>	<i>C Hazen-Williams</i> (universal)	<i>e Darcy-Weisbach</i> (mm)	<i>n Manning</i> (universal)
Fundición	130 – 140	0.26	0.012 - 0.015
Hormigón u Hormig. revestido	120 – 140	0.3 – 3.0	0.012 - 0.017
Hierro Galvanizado	120	0.15	0.015 - 0.017
Plástico	140 – 150	0.0015	0.011 - 0.015
Acero	140 – 150	0.045	0.015 - 0.017
Cerámica	110		0.013 - 0.015

Las tuberías pueden abrirse o cerrarse en determinados instantes de la simulación o bajo ciertas condiciones específicas, como el sobrepasamiento del nivel de un depósito por encima o por debajo de unos límites, o cuando la presión en un nudo supera o queda por debajo de unos umbrales. Ver el epígrafe Leyes de Control del apartado 3.2 para más detalles.

<sup>5</sup> En unidades US la fórmula de Hazen-Williams es:  $4,727 C^{-1,852} d^{-4,871} L$ . El coeficiente de resistencia se ve modificado para que los valores del coeficiente *C* resulten universales (NdT).

<sup>6</sup> En unidades US la fórmula de Darcy-Weisbach es:  $0,0252 f(\epsilon, d, q) d^5 L$ , debiendo expresarse los valores del coeficiente *e* en pies (NdT).

<sup>7</sup> En unidades US la fórmula de Chezy- Manning es:  $4,66 n^2 d^{-5,33} L$ . De nuevo el coeficiente de resistencia se ve modificado, de modo que los valores del coeficiente *n* son universales (NdT)

### Pérdidas Menores

Las pérdidas menores (también denominadas pérdidas localizadas) son debidas al incremento de la turbulencia cuando el flujo pasa por un codo o un accesorio. La importancia de incluir o no tales pérdidas depende del tipo de red modelizada y de la precisión de los resultados deseada. Para tenerlas en cuenta hay que incluir entre los datos de la tubería el coeficiente de pérdidas menores. El valor de la pérdida será el producto de dicho coeficiente por la altura dinámica en la tubería, esto es:

$$h_L = K \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

donde  $K$  = coeficiente de pérdidas menores,  $v$  = velocidad del flujo (unid. longitud/tiempo), y  $g$  = aceleración de la gravedad (unid. longitud/tiempo<sup>2</sup>). La Tabla 3.3 proporciona el valor del coeficiente de pérdidas menores para algunos de los accesorios más comunes.

**Tabla 3.3** Coeficientes de Pérdidas Menores para algunos Accesorios

<i>ACCESORIO</i>	<i>COEF. PERDIDAS</i>
Válvula de Globo, todo abierta	10.0
Válvula de Angulo, todo abierta	5.0
Válv. Retenc. Clapeta, todo abierta	2.5
Válvula compuerta, todo abierta	0.2
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio mediano	0.8
Codo de radio grande	0.6
Codo a 45 grados	0.4
Codo de Retorno (180°)	2.2
Té Estándar – flujo recto	0.6
Té Estándar – flujo desviado	1.8
Entrada brusca	0.5
Salida brusca	1.0

### Bombas

Las bombas son líneas que comunican energía al fluido elevando su altura piezométrica. Los datos principales de una bomba son sus nudos de aspiración e impulsión y su curva característica (o relación entre caudal trasegado y la altura comunicada). En lugar de dar la curva característica, el comportamiento de una bomba puede también modelizarse suponiendo que aporta una cantidad de energía constante al fluido por unidad de tiempo (potencia constante), lo que permite determinar la altura comunicada al fluido en función del caudal de paso.

El resultado principal asociado a una bomba es el incremento de altura comunicada al fluido. El flujo a través de una bomba es de sentido único, y EPANET no permite a la bomba operar fuera del rango delimitado por su curva característica.



Se pueden considerar también bombas de velocidad variable, sin más que especificar el valor de su velocidad relativa de giro, con las mismas restricciones anteriormente mencionadas. Por definición, a la curva original de la bomba suministrada como dato, se le supone una velocidad relativa de 1. De este modo, si la velocidad de giro se duplica, entonces la velocidad relativa sería 2; y si gira a mitad velocidad, entonces sería 0,5. Al cambiar la velocidad de giro de la bomba, su curva característica se desplaza y cambia de forma (ver el epígrafe Curvas Características, más adelante).

Al igual que las tuberías, las bombas puede pararse o arrancarse durante la simulación en instantes prefijados, o cuando se cumplan determinadas condiciones en la red. El modo de operación de una bomba puede también imponerse asignando una curva de modulación a su velocidad relativa. EPANET permite además calcular el consumo energético de una bomba y su coste. Para ello cada bomba puede tener asociada una curva de rendimientos y una curva de modulación de los costes energéticos. Si éstos no se especifican, se adoptarán los valores globales asignados para todo el proyecto.

Como antes se ha dicho, el caudal a través de una bomba es de sentido único. Si las condiciones de funcionamiento del sistema exigen una altura mayor que la que puede proporcionar la bomba, EPANET parará la bomba. Si lo que se requiere es un caudal superior al máximo de su curva, EPANET extrapolará la curva de la bomba hasta obtener el caudal requerido, incluso si ello diera lugar a una altura negativa. En ambos casos se emitirá un mensaje de advertencia.

### Válvulas

Las válvulas son líneas que limitan la presión o el caudal en un punto determinado de la red. Los datos principales de una válvula son:

- los nudos aguas arriba y aguas abajo
- el diámetro
- la consigna
- su estado

Los resultados asociados con una válvula son básicamente el caudal de paso y la pérdida de carga.

Los tipos de válvulas contemplados en EPANET son:

- Válvulas Reductoras de Presión (VRP) (en inglés PRV)
- Válvulas Sostenedoras de Presión (VSP) (en inglés PSV)
- Válvulas de Rotura de Carga (VRC) (en inglés PBV)
- Válvulas de Control del Caudal (VCQ) (en inglés FCV)
- Válvulas de Regulación (VRG) (en inglés TCV)
- Válvulas de Propósito General (VPG) (en inglés GPV).

Las VRPs tratan de limitar la presión en el nudo aguas abajo de la válvula. EPANET determina en cada momento en cuál de los tres estados posibles se encuentra la válvula:

- parcialmente abierta (esto es, activa) para mantener la presión aguas abajo en el valor de consigna prefijado, siempre y cuando la presión aguas arriba sea superior al valor de consigna.
- completamente abierta si la presión aguas arriba es inferior al valor de consigna
- cerrada si la presión aguas abajo excede a la del nudo aguas arriba (para impedir el flujo inverso)

Las válvulas VSPs tratan de mantener la presión en el nudo aguas arriba de la válvula. EPANET determina asimismo en cada momento en cuál de los tres estados posibles se encuentra la válvula:

- parcialmente abierta (esto es, activa) para mantener la presión aguas arriba en el valor de consigna prefijado, siempre y cuando la presión aguas abajo sea inferior al valor de consigna.
- completamente abierta si la presión aguas abajo es superior al valor de consigna.
- cerrada si la presión aguas abajo excede a la del nudo aguas arriba (para impedir el flujo inverso).

Las válvulas VRCs fuerzan el valor de la caída de presión a través de la válvula. El flujo a través de la válvula puede ser en cualquier dirección. Estas válvulas no representan a ningún componente físico, pero son muy útiles para modelizar situaciones en las que la caída de presión a través de la válvula es conocida<sup>8</sup>.

Las válvulas VCQs limitan el caudal de paso a través de la válvula a un valor prefijado. El programa emite un mensaje de advertencia si no puede conseguirse dicho caudal, de no ser que hubiera un aporte de energía (esto es, si el caudal a válvula abierta fuera inferior al de consigna)<sup>9</sup>.

Las válvulas VRGs son bidireccionales y simulan una válvula parcialmente cerrada, cuyo comportamiento queda determinado por el valor del coeficiente de pérdidas en la válvula. Usualmente los fabricantes proporcionan la relación entre dicho coeficiente y el grado de apertura de la válvula.

Las VPGs se utilizan para representar una línea cuya relación pérdida-caudal es proporcionada por el usuario, en lugar de seguir el comportamiento típico de las válvulas establecido por la ecuación de pérdidas. Pueden utilizarse para modelizar una turbina, el descenso dinámico de un pozo o una válvula reductora de presión controlada por caudal.

Las válvulas de corte (tipo compuerta) y las válvulas de retención (o antirretorno), cuya acción es abrir o cerrar totalmente el paso del flujo, no se consideran como líneas independientes, sino que deben incorporarse como propiedades de la tubería en la cual se alojan.

Cada tipo de válvula tiene una consigna diferente, relacionada con su comportamiento (la presión en el caso de las VRPs y VSPs, la caída de presión

---

<sup>8</sup> Si se invierten los nudos de una VRC, ésta se comporta como una bomba de altura prefijada (NdT)

<sup>9</sup> Las válvulas VCQ son unidireccionales, y deben orientarse según el sentido del flujo a limitar. Si se especifica un caudal negativo se comportan como una bomba de caudal prefijado (NdT)





para las VRCs, el caudal para las VCQs, el coeficiente de pérdidas para las VRGs y la curva de pérdidas para las VPGs).

La consigna de control de una válvula puede inhibirse especificando en un momento determinado que ésta se encuentra totalmente abierta o totalmente cerrada. Tanto el estado de una válvula como su consigna pueden modificarse a lo largo de una simulación utilizando las leyes de control.

Debido al modo en que internamente se ha modelizado el comportamiento de las diferentes válvulas, hay que cumplir ciertas normas a la hora de añadir las válvulas al esquema de la red:

- una VRP, VSP ó VCQ no puede conectarse directamente a un embalse o depósito (utilizar una tubería de pequeña longitud para enlazarlos en tal caso)
- dos VRPs no pueden compartir el nudo aguas abajo, ni conectarse en serie
- dos VSPs no pueden compartir el nudo aguas arriba, ni conectarse en serie
- una VSP no puede conectarse al nudo aguas abajo de una VRP.

## 3.2 Componentes No Físicos

Además de los componentes físicos, EPANET utiliza tres tipos de componentes complementarios – curvas de comportamiento, curvas de modulación y leyes de control – los cuales describen aspectos sobre el comportamiento y modo de operación del sistema.

### Curvas de Comportamiento

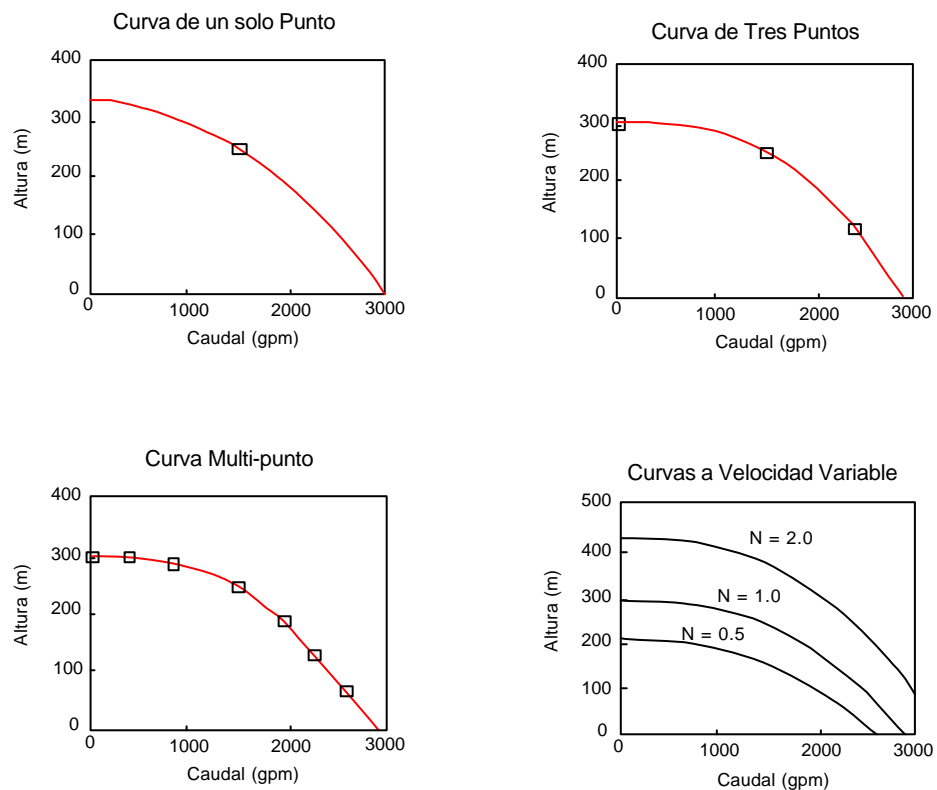
Las Curvas de Comportamiento (o Curvas simplemente) son objetos que contienen pares de datos ordenados, los cuales representan una relación entre dos magnitudes. Dos o más objetos físicos pueden compartir la misma curva. En un modelo de EPANET se pueden declarar los siguientes tipos de Curvas:

- Curvas Características
- Curvas de Rendimiento
- Curvas de Cubicación
- Curvas de Pérdidas

#### Curvas Características (de una Bomba)

La Curva Característica de una Bomba representa la relación entre la altura comunicada al fluido y el caudal de paso, a su velocidad nominal de giro. La altura es la energía comunicada al fluido por unidad de peso, o bien, la diferencia de presiones entre la salida y la entrada de la bomba, y se representa sobre el eje vertical de la curva (eje Y), en pies (metros). El caudal se representa sobre el eje horizontal (eje X), en las unidades de caudal elegidas. Para que la curva característica de una bomba sea válida, la altura debe disminuir al aumentar el caudal.

EPANET ajustará diferentes tipos de curvas, en función del número de puntos suministrado (ver Figura 3.2):



**Figura 3.2** Ejemplos de Curvas Características de una Bomba

*Curvas de un solo Punto* – Una curva de un solo punto queda definida por una única relación altura-caudal, que normalmente representará el punto de funcionamiento deseado o nominal de la bomba. EPANET añade dos puntos más a la curva, uno a caudal nulo, cuya altura supone que es un 133 % de la altura nominal, y otro a altura cero, cuyo caudal correspondiente asume que es el doble del caudal nominal. De este modo la curva es tratada finalmente como una curva de tres puntos.

*Curvas de Tres Puntos* – Cuando la curva de una bomba se define mediante tres puntos, éstos se interpretan como: un punto de funcionamiento a Caudal Bajo (altura a caudal nulo o a caudal mínimo), un punto de funcionamiento al Caudal de Diseño (caudal y altura nominales de la bomba), y un punto de funcionamiento a Caudal Máximo (caudal y altura a caudal máximo). EPANET intentará ajustar sobre los tres puntos una curva continua del tipo:

$$h_G = A - Bq^C$$

para definir el comportamiento completo de la bomba. En la expresión anterior se tiene,  $h_G$  = incremento de altura,  $q$  = caudal de paso, y  $A$ ,  $B$ , y  $C$  = constantes de la curva de ajuste.



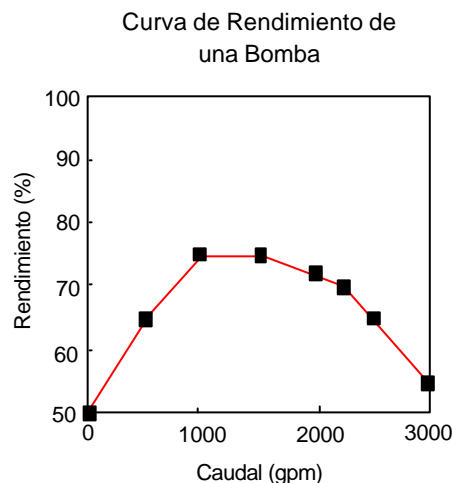
*Curvas MultiPunto* – La curva de una bomba se interpreta como una curva multipunto si el número de pares de valores altura-caudal proporcionados es dos, cuatro o más de cuatro. EPANET completa en este caso la curva de la bomba uniendo los puntos proporcionados mediante tramos rectos.

Para bombas de velocidad variable, la curva de la bomba se modifica a medida que cambia la velocidad. Las relaciones de caudales (Q) y de alturas (H) entre dos puntos semejantes, para dos velocidades de giro cualesquiera  $N_1$  y  $N_2$ , se admite que guardan las relaciones:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad \frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

#### Curvas de Rendimiento (de una Bomba)

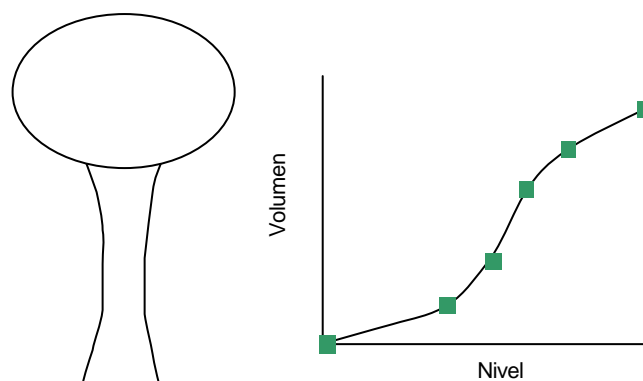
La Curva de Rendimiento de una Bomba relaciona el rendimiento, en tanto por ciento (eje Y), con el caudal de paso, en las unidades elegidas (eje X). Un ejemplo de una curva de rendimiento se muestra en la Figura 3.3. El rendimiento se entiende como global del grupo impulsor, e incluye tanto las pérdidas totales de la bomba como las pérdidas eléctricas o de otro tipo del motor de arrastre. La curva de rendimientos se utiliza únicamente para el cálculo energético. Si ésta no se declara, se asumirá un rendimiento fijo para todos los puntos de trabajo.



**Figura 3.3** Curva de Rendimiento de una Bomba

#### Curvas de Cubicación (de un Depósito)

La Curva de Cubicación de un Depósito relaciona el volumen de agua almacenado, en pies cúbicos o metros cúbicos (eje Y), con el nivel de agua en el mismo, en pies o en metros (eje X). Se utiliza, en caso necesario, para representar con mayor precisión el comportamiento de los depósitos cuya sección transversal varía con la altura. Los niveles máximo y mínimo abarcados por la curva deben contener a los niveles máximo y mínimo entre los cuales opera el depósito. En la figura 3.4 se muestra un ejemplo de una curva de cubicación.



**Figura 3.4** Curva de Cubicación de un Depósito

### Curvas de Pérdidas (de una Válvula de Propósito General)

Una Curva de Pérdidas se utiliza para relacionar la pérdida de carga a través de una Válvula de Propósito General, en pies o metros (eje Y), con el caudal de paso, en las unidades de caudal elegidas (eje X). Permite modelizar componentes y situaciones en las cuales la relación entre el caudal y la pérdida es única, como válvulas reductoras de presión controladas por caudal, turbinas o curvas de descenso dinámico de un pozo.

### Curvas de Modulación

Las Curvas de Modulación (o Patrones), son una secuencia de factores multiplicativos que, aplicados sobre un valor base, hacen que éste varíe con el tiempo. Las Curvas de Modulación se asocian a las demandas en los nudos, a las alturas de los embalses, a la velocidad de giro de las bombas, y a las inyecciones de contaminantes en la red. El intervalo de tiempo para todos los patrones es un mismo valor, el cual se establece en las *Opciones de Tiempos* del proyecto (ver Apartado 8.1). Dentro de un intervalo se admite que el valor de la magnitud permanece constante, e igual al producto del valor base por el factor multiplicativo correspondiente a dicho intervalo. Aunque todas las curvas de modulación tengan el mismo intervalo de tiempo, cada una puede contener un número diferente de periodos. Cuando el tiempo de simulación excede al definido por el número de periodos de la curva, ésta se repite a partir del primer periodo.

Como ejemplo del modo en que se aplican las curvas de modulación consideremos un nudo de demanda, con una demanda media de 10 gpm. Supongamos que el intervalo de tiempo se ha establecido en 4 horas, y que la curva de modulación asociada a dicho nudo es la siguiente:

Periodo	1	2	3	4	5	6
Multiplicador	0.5	0.8	1.0	1.2	0.9	0.7

En tales circunstancias, la variación temporal de la demanda aplicada en dicho nudo será:

Horas	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24	24-28
Demanda	5	8	10	12	9	7	5



## Leyes de Control

Las Leyes de Control son instrucciones que determinan el modo de operación de la red durante la simulación. Controlan el estado de determinadas líneas de la red en función del tiempo, de los niveles en los depósitos y de las presiones en puntos de referencia de la red. Las leyes de control pueden clasificarse en dos categorías:

- Leyes de Control Simples
- Leyes de Control basadas en Reglas

### Leyes de Control Simples

Las Leyes de Control Simples cambian el estado o la consigna de una línea en base a:

- el nivel de agua en un depósito,
- la presión en un nudo,
- el instante de la simulación,
- la hora del día.

Las instrucciones de las leyes de control simples responden a alguno de los siguientes formatos<sup>10</sup>:

```
LINK IDlínea estado IF NODE IDnudo ABOVE/BELOW valor
LINK IDlínea estado AT TIME tiempo
LINK IDlínea estado AT CLOCKTIME hora_real AM/PM
```

donde:

*IDlínea* = identificativo ID de una línea,  
*estado* = OPEN ó CLOSED, la velocidad de giro de una bomba, o la consigna de una válvula de control  
*IDnudo* = identificativo ID de un nudo,  
*valor* = la presión en un nudo o el nivel en un depósito,  
*tiempo* = un instante contado desde el inicio de la simulación, y expresado en horas, o en horas:minutos,  
*hora\_real* = una hora del día, en formato am (0h – medianoche, 12 h – mediodía) ó pm (0h - mediodía, 12h – medianoche).

A continuación se muestran algunos ejemplos de leyes de control simples:

<i>Ley de Control</i>	<i>Significado</i>
LINK 12 CLOSED IF NODE 23 ABOVE 20	(Cerrar la Línea 12 cuando el nivel en el Depósito 23 exceda de 20 pies.)
LINK 12 OPEN IF NODE 130 BELOW 30	(Abrir la Línea 12 si la presión en el Nudo 130 cae por debajo de 30 psi)
LINK 12 1.5 AT TIME 16	(Fijar la velocidad relativa de la bomba 12 en 1,5 a las 16 horas de la simulación)
LINK 12 CLOSED AT CLOCKTIME 10 AM	(La Línea 12 se cerrará a las 10 am y se abrirá a las 8 pm repetidamente a lo largo de la simulación)
LINK 12 OPEN AT CLOCKTIME 8 PM	

<sup>10</sup> Las palabras claves de las leyes de control no se han traducido por compatibilidad con la estructura interna de datos de EPANET, y también con los ficheros de datos que ruedan con la versión inglesa

No hay límite en cuanto al número de leyes de control simples que pueden imponerse.

**Nota:** Las leyes de control se establecen en términos del nivel del agua sobre el fondo del depósito, y no de la altura total (o altura piezométrica) de la superficie libre.

**Nota:** Cuando se imponen dos leyes de control basadas en valores de la presión muy próximos, se pueden obtener inestabilidades durante la simulación. Para hacer el sistema más estable, se aconseja imponer dichas condiciones mediante Leyes de Control basadas en Reglas.

### Leyes de Control basadas en Reglas

Las Leyes de Control basadas en Reglas, permiten imponer el estado de las líneas o las consignas en base a una combinación de situaciones que pueden darse en la red, una vez calculado inicialmente el estado de la misma para el intervalo en curso. A continuación se muestran un par de ejemplos de Leyes de Control basadas en Reglas:

#### *Ejemplo 1:*

Este conjunto de reglas permiten parar una bomba y abrir un by-pass cuando el nivel en un depósito excede de un determinado valor, y efectuar las operaciones contrarias cuando el nivel del depósito esté por debajo de otro valor.

```
RULE 1
  IF TANK 1 LEVEL ABOVE 19.1
  THEN PUMP 335 STATUS IS CLOSED
  AND PIPE 330 STATUS IS OPEN
```

```
RULE 2
  IF TANK 1 LEVEL BELOW 17.1
  THEN PUMP 335 STATUS IS OPEN
  AND PIPE 330 STATUS IS CLOSED
```

#### *Ejemplo 2:*

Este conjunto de reglas permite modificar el nivel del depósito al cual debe arrancar la bomba, en función de la hora del día.

```
RULE 3
  IF SYSTEM CLOCKTIME >= 8 AM
  AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 PM
  AND TANK 1 LEVEL BELOW 12
  THEN PUMP 335 STATUS IS OPEN
```

```
RULE 4
  IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 PM
  OR SYSTEM CLOCKTIME < 8 AM
  AND TANK 1 LEVEL BELOW 14
  THEN PUMP 335 STATUS IS OPEN
```

Una descripción completa de los formatos utilizados por las Leyes de Control basadas en Reglas puede encontrarse en el Apéndice C, dentro de la sección [RULES].



### 3.3 El Modelo de Simulación Hidráulica

El modelo de simulación hidráulica de EPANET calcula las alturas piezométricas en los nudos y los caudales en las líneas, dados los niveles iniciales en los embalses y depósitos, y la sucesión en el tiempo de las demandas aplicadas en los nudos. De un instante al siguiente se actualizan los niveles en los depósitos conforme a los caudales calculados que entran o salen de los mismos, y las demandas en los nudos conforme a sus curvas de modulación. Para obtener las alturas y caudales en un determinado instante se resuelven simultáneamente las ecuaciones de conservación del caudal en los nudos y las ecuaciones de pérdidas en todos los tramos de la red. Este proceso, conocido como “equilibrado hidráulico”, requiere el uso de métodos iterativos para resolver las ecuaciones de tipo no lineal involucradas. EPANET emplea a tal fin el “Algoritmo del Gradiente”. Para más detalles, consultar el Apéndice D.

El intervalo de cálculo hidráulico utilizado para llevar a cabo la simulación en periodo extendido (EPS) puede ser fijado por el usuario. El valor típico es de 1 hora. Sin embargo, en ocasiones el intervalo utilizado por EPANET internamente puede ser más corto, por alguna de las siguientes razones:

- la intercalación de un instante en el que se desean conocer los resultados
- la intercalación de un instante obligado por las curvas de modulación
- un depósito se llena o se vacía
- se activa una ley de control simple o basada en reglas

### 3.4 El Modelo de Simulación para la Calidad del Agua

#### El Modelo de Transporte

El simulador de calidad de EPANET utiliza una aproximación Lagrangiana para efectuar el seguimiento, a intervalos fijos de tiempo, del destino de una serie de porciones de agua consideradas a priori, a medida que éstas avanzan por las tuberías y se mezclan en los nudos de confluencia. Los intervalos de tiempo empleados para llevar a cabo el modelo de calidad son normalmente muy inferiores a los empleados para ejecutar el modelo hidráulico (minutos, más bien que horas) con el fin de ajustarse a los pequeños tiempos de recorrido que pueden darse en algunas tuberías.

El método va actualizando en cada paso la concentración y el tamaño de una serie de segmentos de agua, los cuales rellenan las tuberías sin solapamientos. A medida que avanza el tiempo, el primer segmento avanza arriba de una línea incrementa su tamaño para alojar el agua que va entrando a la misma. Al propio tiempo, el último segmento de la línea pierde volumen debido al agua que abandona la línea, reduciéndose en un tamaño equivalente. Por su parte, el tamaño de los segmentos intermedios permanece constante.

En cada intervalo de tiempo del modelo de calidad, el contenido de cada segmento es sometido a las reacciones pertinentes. Además se lleva la cuenta de la masa y caudal total que llega a cada nudo, al tiempo que las posiciones de todos los segmentos son actualizadas. A continuación se calculan las concentraciones resultantes en los nudos, para lo cual se tiene en cuenta también las posibles contribuciones desde fuentes externas. A tal fin, éstas se actualizan antes en función del tipo de modelo de mezcla definido (ver más adelante). Finalmente, para todas las tuberías que parten de un nudo, si la calidad resultante en el mismo difiere de la del último segmento de la tubería en una cantidad superior a la tolerancia definida por el usuario, se creará un nuevo segmento al final de dicha tubería (esto es, en el extremo aguas arriba).

Inicialmente cada tubería consta de un solo segmento cuya calidad se iguala a la calidad del nudo aguas arriba. Cuando se invierte el flujo en una tubería los distintos segmentos de que consta en ese momento se reordenan según el nuevo sentido de circulación del agua.

### Modelos de Mezcla en los Depósitos

EPANET puede utilizar cuatro modelos diferentes para caracterizar el proceso de mezcla que ocurre en los depósitos, los cuales se muestran en la Figura 3.5:

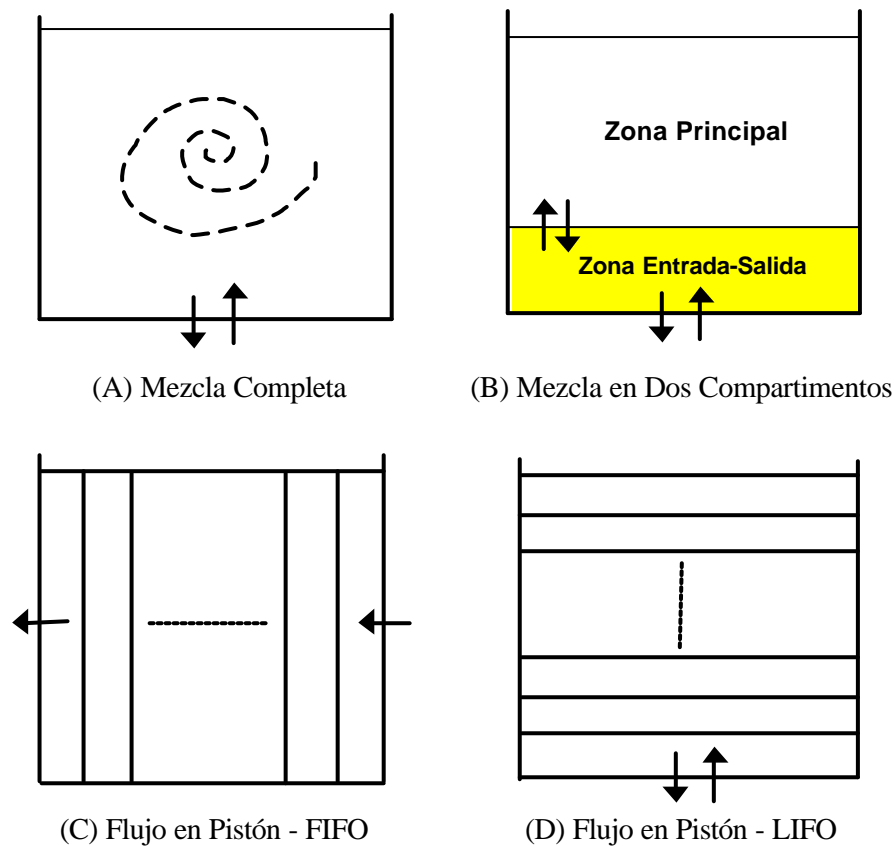
- Mezcla completa
- Mezcla en Dos Compartimentos
- Flujo en Pistón tipo FIFO
- Flujo en Pistón tipo LIFO

Cada depósito de la red puede asociarse con un modelo diferente.

El modelo de Mezcla Completa (Figura 3.5(A)) asume que toda el agua que entra al depósito se mezcla total e instantáneamente con el agua ya almacenada. Es el modelo de mezcla más sencillo que puede formularse, no requiere ningún parámetro extra, y la práctica demuestra que se ajusta bastante bien a un gran número de depósitos de regulación.

El modelo de Dos Compartimentos (Figura 3.5(B)) divide el volumen de almacenamiento del depósito en dos compartimentos, en cada uno de los cuales se admite la mezcla completa. Se supone además que las tuberías de entrada y salida del depósito se encuentran conectadas al primer compartimento. El agua nueva que entra al depósito se mezcla con el agua contenida en el primer compartimento. Si éste está lleno, el exceso de agua pasa al segundo compartimento, donde se mezcla totalmente con el agua almacenada en él. Cuando el agua abandona el depósito, sale del primer compartimento, y si estuviera lleno, recibe una cantidad equivalente de agua del segundo compartimento. El primer compartimento pretende simular una zona de 'cortocircuito' entre el flujo que entra y el flujo que sale, mientras que el segundo compartimento representa una zona muerta. El usuario debe proporcionar en este modelo un parámetro adicional, la fracción del volumen total del depósito que corresponde al primer compartimento.





**Figura 3.5** Modelos de Mezcla en los Depósitos

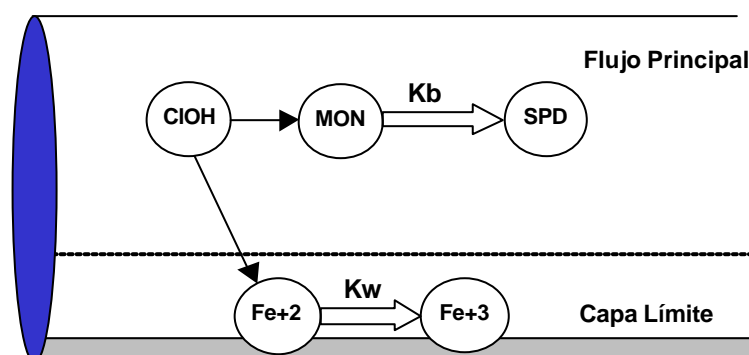
El modelo de flujo en pistón tipo FIFO (First Input is First Output) (Figura 3.5(C)) supone que no hay mezcla alguna del agua mientras permanece en el depósito. Los diferentes volúmenes de agua, aun siendo contiguos, viajan de forma separada por el interior del depósito, de forma que el primer volumen en entrar será el primero en salir. Desde un punto de vista físico, este modelo resulta apropiado para simular depósitos con pantallas en su interior, y que operan con flujos continuos de entrada y salida. No se necesita ningún parámetro adicional para caracterizar este modelo de mezcla.

Finalmente, el modelo de flujo en pistón tipo LIFO (Last Input is First Output) (Figure 3.5(D)) también asume que no hay mezcla de agua entre los diferentes volúmenes que entran al depósito. Sin embargo, a diferencia del modelo anterior, los distintos volúmenes se van apilando uno sobre otro, a medida que el agua entra o sale del depósito por el fondo. Este tipo de modelo es aplicable a torres de agua altas y estrechas, con una tubería única de entrada y salida en el fondo, y con una cantidad de movimiento del flujo entrante reducida. Como en el caso anterior, tampoco se requiere ningún parámetro adicional.

### Reacciones que afectan a la Calidad del Agua

EPANET puede realizar el seguimiento del crecimiento o decrecimiento de una sustancia debido a reacciones internas, mientras ésta viaja a través de la red de distribución. Para llevar ello a cabo es necesario conocer la velocidad de reacción de la sustancia y la medida en que ésta depende de su propia concentración. La

reacciones pueden producirse en el seno del líquido, y también con el material que recubre las paredes de las tuberías, tal como se muestra en la Figura 3.6. En dicho ejemplo, se ha supuesto el cloro libre (ClOH) reaccionando con la materia orgánica natural (MON) sobre el flujo principal, para dar lugar a los subproductos derivados de la desinfección (SPD), y otra parte de él transportado a la capa límite próxima a la pared, donde oxida al hierro (Fe) liberado por la corrosión de la tubería. Las reacciones en el seno del agua pueden darse también en los depósitos. EPANET permite al usuario tratar estas dos zonas de reacción separadamente.



**Figura 3.6** Zonas de Reacción en el interior de una Tubería

### Reacciones en el medio

EPANET modeliza las reacciones que ocurren en el seno del agua mediante una cinética de orden  $n$ , lo que significa que la velocidad instantánea de reacción  $R$  (en unidades de masa/volumen/tiempo) de una sustancia depende de la concentración de dicha sustancia en cada momento, conforme a la expresión:

$$R = K_b C^n$$

donde  $K_b$  = coeficiente de reacción en el medio,  $C$  = concentración del reactivo (masa/volumen), y  $n$  = orden de la reacción. El coeficiente  $K_b$  tiene unidades de concentración elevada a la potencia  $(1-n)$  y dividido por tiempo. Su signo será positivo si la cantidad de sustancia crece con el tiempo, y negativo si decrece.

EPANET es capaz de modelizar también reacciones que tienden a una concentración límite, ya sea por crecimiento o decrecimiento de la sustancia. En este caso, la expresión de la velocidad de reacción tiene la forma:

$$R = K_b (C_L - C) C^{(n-1)} \quad \text{para } n > 0, K_b > 0$$

$$R = K_b (C - C_L) C^{(n-1)} \quad \text{para } n > 0, K_b < 0$$

donde  $C_L$  = concentración límite. Por consiguiente, se dispone de hasta tres parámetros ( $K_b$ ,  $C_L$ , y  $n$ ) para caracterizar las reacciones en el medio. Algunos ejemplos cuya cinética es bien conocida se recogen en la tabla siguiente (ver el Apéndice D para más ejemplos):



<i>Modelo</i>	<i>Parámetros</i>	<i>Ejemplos</i>
Decrecimiento de Primer Orden	$C_L = 0, K_b < 0, n = 1$	Cloro
Crecimiento de Primer Orden hasta la Saturación	$C_L > 0, K_b > 0, n = 1$	Trihalometanos
Cinética de Orden Cero	$C_L = 0, K_b < 0, n = 0$	Tiempo Permanencia
Sin reacción	$C_L = 0, K_b = 0$	Trazas de Flúor

El valor de  $K_b$  para reacciones de primer orden puede estimarse poniendo una muestra de agua en varios frascos de vidrio no reactivo, y analizando el contenido de la sustancia en cada botella tras un tiempo de permanencia distinto para cada una. Si la reacción es de primer orden, al representar frente al tiempo el logaritmo natural de la concentración  $C_t$  en el instante  $t$  respecto a la concentración  $C_o$  en el instante inicial, esto es  $\log(C_t/C_o)$ , deberá obtenerse una recta.

El coeficiente de reacción en el medio usualmente aumenta con la temperatura. La realización de varios ensayos en laboratorio con muestras a diferentes temperaturas nos permitirá valorar el efecto de ésta sobre el coeficiente de reacción.

### Reacciones en la Pared

La velocidad de reacción de las sustancias que reaccionan en, o cerca de, la pared de las tuberías, puede considerarse que depende de la concentración en el seno del agua del flujo principal mediante la expresión:

$$R = (A/V)K_w C^n$$

donde  $K_w$  = coeficiente de reacción en la pared y  $(A/V)$  = superficie de contacto por unidad de volumen en el interior de la tubería (igual a 4 dividido por el diámetro de la tubería). El último término convierte la velocidad de reacción por unidad de área en velocidad por unidad de volumen. EPANET limita las opciones para la velocidad de reacción en la pared a orden 0 u orden 1, con lo que las unidades de  $K_w$  son masa/área/tiempo o bien longitud/tiempo, dependiendo del orden de la reacción. Al igual que  $K_b$ , el coeficiente  $K_w$  debe ser proporcionado por el usuario. Los valores de  $K_w$  para reacciones de primer orden pueden ir desde 0 hasta 1,5 m/día.

El coeficiente  $K_w$  debe ajustarse para tener en cuenta cualquier limitación en la transferencia de masa que pueda afectar al movimiento de reactivos y productos de reacción entre la corriente principal y la pared. EPANET tiene esto en cuenta automáticamente, en base a la difusión molecular de la sustancia modelizada y el número de Reynolds del flujo. Ver el Apéndice D para más detalles. (Si se pone la difusión molecular como cero, las limitaciones de transferencia de masa serán ignoradas)

El coeficiente de reacción en la pared puede depender de la temperatura y puede también correlacionarse con la edad de la tubería y el material. En efecto, es bien sabido que con el paso del tiempo la rugosidad de las tuberías metálicas tiende a incrementarse debido a la formación de incrustaciones y tubérculos procedentes de la corrosión de las paredes. El incremento de la rugosidad da lugar a una disminución del coeficiente  $C$  de Hazen-Williams, o bien un aumento del coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach, provocando en definitiva una mayor pérdida de carga en la tubería.

Existen algunas evidencias que sugieren que el mismo proceso que hace incrementar la rugosidad de la tubería con el tiempo, tiende a incrementar también la reactividad de sus paredes con algunas especies químicas, en particular con el cloro y otros desinfectantes. EPANET puede hacer depender el coeficiente  $K_w$  de cada tubería de su coeficiente de rugosidad. La expresión utilizada para ello depende de la fórmula de pérdidas empleada:

<u>Fórmula de Pérdidas</u>	<u>Fórmula Coef. Reacc. Pared</u>
Hazen-Williams	$K_w = F / C$
Darcy-Weisbach	$K_w = -F / \log(e/d)$
Chezy-Manning	$K_w = F n$

donde  $C$  = Coeficiente de pérdidas de Hazen-Williams,  $e$  = rugosidad absoluta empleada en la fórmula de Darcy-Weisbach,  $d$  = diámetro de la tubería,  $n$  = coeficiente de rugosidad de Manning, y  $F$  = coeficiente de correlación rugosidad-reacción en la pared. El coeficiente  $F$  debe obtenerse a partir de medidas de campo para cada red en particular, y su significado depende de la ecuación de pérdidas empleada. La ventaja de utilizar esta aproximación es que basta un solo parámetro,  $F$ , para hacer variar el coeficiente de reacción en la pared a través de la red de una forma razonable.

### Tiempo de Permanencia y Procedencias

Además del transporte de sustancias químicas, EPANET puede también modelizar la evolución del tiempo de permanencia del agua en la red de distribución. El tiempo de permanencia, o 'edad' del agua como se le conoce en la terminología inglesa, es el tiempo que permanece una determinada porción de agua en el interior de la red. El agua que entra en la red procedente de un embalse o de una fuente de suministro se supone que lo hace con tiempo de permanencia cero. El cálculo de tiempos de permanencia es una forma simple de valorar la calidad del agua en la red, sin necesidad de efectuar ninguna medida. Internamente EPANET considera el tiempo de permanencia como una sustancia reactiva cuyo crecimiento responde a una cinética de orden 0, y cuya constante de reacción es igual a 1 (esto es, cada segundo que pasa el agua se convierte en un segundo más 'vieja').

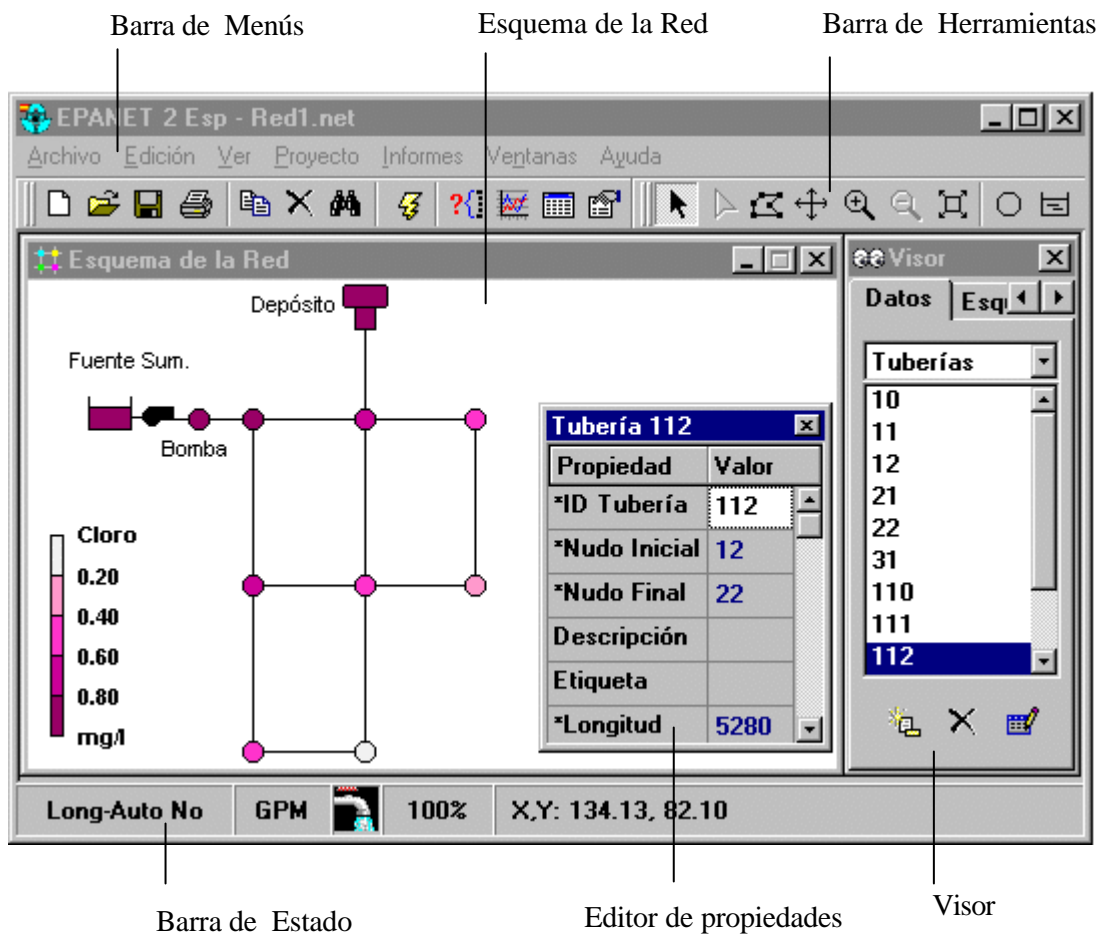
EPANET también puede realizar análisis de procedencias. El análisis de procedencias efectúa un seguimiento en el tiempo del porcentaje de agua que alcanza cada nudo de la red, procedente de un nudo determinado. El nudo origen puede ser cualquier nudo de la red, incluyendo depósitos y embalses. Internamente EPANET considera dicho nudo como una fuente de inyección permanente de una sustancia no reactiva, que entra en la red con una concentración del 100 %. El análisis de procedencias es una herramienta útil para estudiar el alcance del agua en la red procedente de un fuente de suministro, cuando la red se alimenta desde más de un punto. Al mismo tiempo nos informa sobre cómo se lleva a cabo el proceso de mezcla, y cómo el porcentaje de mezcla varía espacialmente a lo largo del tiempo.

## CAPITULO 4 - EL ENTORNO DE TRABAJO DE EPANET

En el presente capítulo se pasa revista a las principales características del entorno de trabajo de EPANET. En particular, se describe la Barra del Menú Principal, la Barra de Herramientas y la Barra de Estado, así como las tres ventanas utilizadas con mayor frecuencia: el Esquema de la red, el Visor y el Editor de Propiedades. Finalmente se muestra cómo fijar las preferencias que configurarán el modo de trabajo del programa.

### 4.1 Introducción

La figura siguiente muestra el entorno de trabajo básico de EPANET. En ella pueden observarse los siguientes elementos de la interface: una *Barra de Menú*, dos *Barras de Herramientas*, una *Barra de Estado*, la ventana del *Esquema de la Red*, la ventana del *Visor* y la ventana del *Editor de Propiedades*. Cada uno de estos elementos se describe con detalle en las secciones siguientes.



## 4.2 La Barra de Menús

La *Barra de Menús* ocupa la parte superior de la ventana principal de EPANET, y contiene un conjunto de menús utilizados para controlar el funcionamiento del programa. Estos son:

- Menú de Archivo
- Menú de Edición
- Menú Ver
- Menú de Proyecto
- Menú de Informes
- Menú de Ventanas
- Menú de Ayuda

### Menú de Archivo

El *Menú de Archivo* contiene los comandos utilizados para abrir y guardar los archivos de datos, así como para imprimir. Estos son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Nuevo	Crea un nuevo proyecto de EPANET
Abrir	Abre un proyecto existente
Guardar	Guarda el proyecto actual
Guardar como	Guarda el proyecto actual con otro nombre
Importar	Importa los datos de la red o de su esquema desde otro archivo
Exportar	Exporta los datos de la red o de su esquema a otro archivo
Preparar Página	Fija los márgenes, encabezados y pies de página para imprimir
Vista Previa	Muestra una vista previa de la ventana actual
Imprimir	Imprime la ventana actual
Preferencias	Establece las preferencias para el modo de trabajo del programa
Salir	Sale de EPANET



### Menú de Edición

El *Menú de Edición* contiene los comandos utilizados para editar y copiar. Estos son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Copiar a	Copia el contenido de la ventana activa actual (esquema, informe, gráfico o tabla) al portapapeles o a un archivo
Seleccionar Objeto	Permite seleccionar un objeto del esquema de la red
Seleccionar Vértice	Permite seleccionar los vértices del trazado de las tuberías sobre el esquema de la red
Seleccionar Región	Permite seleccionar una región sobre el esquema de la red
Seleccionar Todo	Selecciona toda el área ocupada por el esquema de la red
Editar Grupo	Edita una propiedad elegida para el grupo de objetos que caen dentro de la región delimitada sobre el esquema

### Menú Ver

Las opciones del *Menú Ver* controlan cómo se visualiza el esquema de la red. Estas son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Dimensiones	Permite modificar las dimensiones del esquema y sus unidades
Mapa de Fondo	Permite visualizar un mapa de fondo
Desplazar	Permite desplazar el esquema de la red
Acercar	Permite acercar el esquema de la red
Alejar	Permite alejar el esquema de la red
Encuadre	Redibuja el esquema completo de la red
Buscar	Localiza un elemento dado de la red y lo centra
Consultar	Localiza los elementos de la red que cumplen un criterio dado
Vista General	Activa/desactiva la visualización de un mapa global de la red
Leyendas	Activa/desactiva la visualización de las leyendas y permite su edición
Barra Herramientas	Activa/desactiva la visualización de las barras de herramientas
Opciones	Fija las opciones para la visualización del esquema

### Menú de Proyecto

El *Menú de Proyecto* incorpora los comandos relacionados con el análisis del proyecto en curso. Estos son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Resumen	Proporciona un resumen de las características del proyecto
Valores por Defecto	Permite editar las propiedades por defecto del proyecto
Datos Calibración	Maneja los ficheros de datos para la calibración de la red
Opciones de Cálculo	Permite editar las diversas opciones de cálculo
Calcular	Realiza la simulación

### Menú de Informes

El *Menú de Informes* contiene los comandos utilizados para visualizar los resultados de la simulación en diversos formatos. Estos comandos son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Estado	Muestra los cambios habidos en el estado de los elementos de la red a la largo de la simulación
Energías	Proporciona la energía consumida por cada bomba
Calibración	Compara las diferencias entre los valores medidos y los calculados mediante la simulación
Reacciones	Informa sobre las velocidades medias de reacción en los distintos componentes de la red
Completo	Crea un informe completo de los resultados para todos los nudos y líneas, en cada uno de los instantes de la simulación, y los guarda en un fichero de texto
Gráficos	Crea curvas de evolución, perfiles longitudinales, curvas de distribución y mapas de isolíneas para la magnitud seleccionada
Tablas	Crea una tabla con los valores numéricos de las magnitudes elegidas, para los nudos y líneas seleccionados
Opciones	Controla el estilo de presentación de informes, gráficas o tablas





## Menú de Ventanas

El *Menú de Ventanas* contiene los siguientes comandos:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Organizar	Reorganiza todas las ventanas hijas y las apila dentro de la ventana principal
Cerrar Todo	Cierra todas las ventanas abiertas (excepto la del Esquema y la del Visor)
Lista de Ventanas	Lista todas las ventanas abiertas, y marca la ventana activa actual

## Menú de Ayuda

El *Menú de Ayuda* contiene los comandos dirigidos a obtener la ayuda requerida durante el uso de EPANET. Estos son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Temas de Ayuda	Abre un cuadro de diálogo con los Temas de Ayuda
Unidades	Lista las unidades de medida de todos los parámetros utilizados por EPANET
Novedades	Informa de las novedades introducidas en la versión 2.0
Guía Rápida	Ofrece una breve introducción para el uso de EPANET
Acerca de	Muestra información sobre la versión de EPANET en uso

La ayuda es accesible también desde los diferentes contextos, presionando la tecla F1.

### 4.3 Las Barras de Herramientas













Las *Barras de Herramientas* proporcionan un acceso rápido a los comandos utilizados con mayor frecuencia. Se dispone de dos barras de herramientas:

- La Barra de Herramientas Estándar
- La Barra de Herramientas del Esquema

Las barras de herramientas pueden ajustarse debajo de la barra del Menú Principal o bien ser arrastradas a cualquier lugar del espacio de trabajo de EPANET. Cuando se separan de la barra de menús pueden también redimensionarse. Además, pueden hacerse visibles u ocultarse seleccionando el comando **Ver >> Barra Herramientas**.















#### La Barra de Herramientas Estándar

La *Barra de Herramientas Estándar* contiene los botones para el acceso rápido a los comandos más usados.

-  Crea un proyecto nuevo (**Archivo >> Nuevo**)
-  Abre un proyecto existente (**Archivo >> Abrir**)
-  Guarda el proyecto actual (**Archivo >> Guardar**)
-  Imprime la ventana activa actual (**Archivo >> Imprimir**)
-  Copia los elementos seleccionados de la ventana actual al portapapeles o a un fichero (**Edición >> Copiar a**)
-  Borra el elemento actualmente seleccionado
-  Busca un determinado elemento sobre el esquema de la red (**Ver >> Buscar**)
-  Ejecuta una simulación (**Proyecto >> Calcular**)
-  Realiza una consulta visual sobre los elementos de la red (**Ver >> Consultar**)
-  Crea una nueva ventana gráfica de resultados (**Informes >> Gráficos**)
-  Crea una nueva ventana de resultados numéricos (**Informes >> Tablas**)
-  Modifica las opciones de la ventana activa actual (**Ver >> Opciones ó Informes >> Opciones**)

#### La Barra de Herramientas del Esquema

La *Barra de Herramientas del Esquema* contiene una serie de botones para facilitar la edición y manipulación del Esquema de la Red.

-  Selecciona un objeto del esquema de la red (**Edición >> Seleccionar Objeto**)
-  Selecciona los vértices de las líneas (**Edición >> Seleccionar Vértice**)
-  Delimita una región sobre el esquema de la red (**Edición >> Seleccionar Región**)
-  Permite desplazar el esquema de la red (**Ver >> Desplazar**)
-  Acerca el esquema de la red (**Ver >> Acercar**)
-  Aleja el esquema de la red (**Ver >> Alejar**)
-  Redibuja el esquema completo de la red (**Ver >> Encuadre**)
-  Añade un nudo de caudal sobre el esquema de la red
-  Añade un embalse sobre el esquema de la red
-  Añade un depósito sobre el esquema de la red
-  Añade una tubería sobre el esquema de la red
-  Añade una bomba sobre el esquema de la red
-  Añade una válvula sobre el esquema de la red
-  Añade un rótulo sobre el esquema de la red



#### 4.4 La Barra de Estado

La *Barra de Estado* está situada al pie del entorno de trabajo de EPANET y se divide en cinco secciones, las cuales ofrecen la siguiente información:

- **Long-Auto** – indica si el cálculo automático de la longitud de las tuberías está activado o desactivado
- **Unidades de Caudal** – muestra las unidades de caudal actuales
- **Nivel de Zoom** – muestra el nivel de zoom actual del esquema (100 % corresponde a la vista completa)
- **Estado de la Simulación** – se representa mediante el icono de un grifo, con el siguiente significado:
  - si no sale agua, los resultados no están disponibles
  - si sale agua, los resultados son válidos y están disponibles
  - si el grifo aparece roto, los resultados están disponibles pero pueden no ser válidos porque algún dato ha sido modificado.
- **Posición XY** – muestra la posición del puntero del ratón, en las coordenadas del esquema.

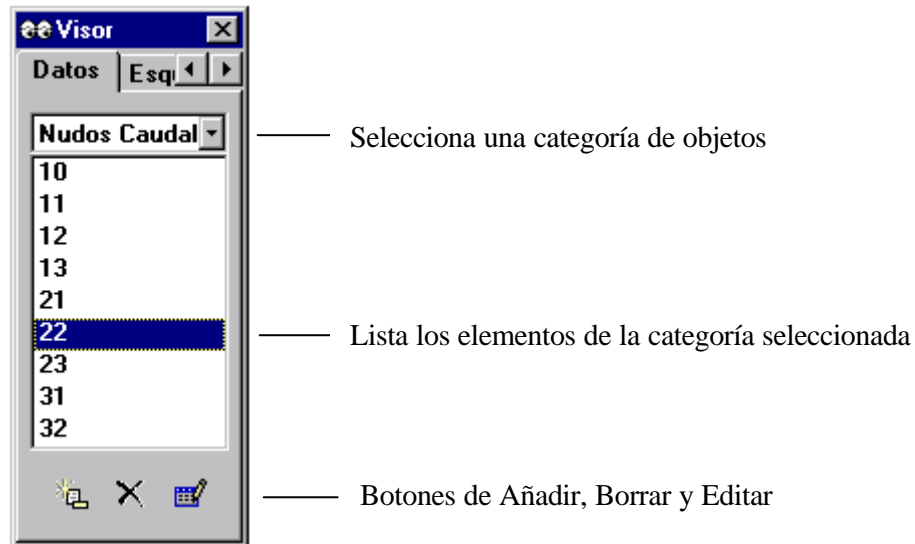
#### 4.5 El Esquema de la Red

El *Esquema de la Red* es una representación esquemática en dos dimensiones de los diferentes componentes de la red. La localización de los objetos y las distancias entre ellos no tienen porqué corresponderse con la escala real. Las propiedades seleccionadas de estos objetos, como por ejemplo la calidad del agua en los nudos o la velocidad de circulación por las tuberías, pueden mostrarse en una escala de colores. Los códigos de colores se describen en una leyenda, y pueden modificarse. El esquema puede ampliarse añadiendo nuevos objetos, mientras que los ya existentes pueden editarse, borrarse o restituirse.

A efectos de referencia, puede también incorporarse un dibujo de fondo detrás del esquema, conteniendo información sobre calles o curvas de nivel. El esquema puede ampliarse hasta cualquier escala y desplazarse de un extremo a otro. Los nudos y líneas pueden dibujarse en diferentes tamaños, se pueden añadir símbolos para representar los objetos, flechas para indicar el sentido del flujo, así como asociar etiquetas a los elementos de la red para mostrar su identificativo o el valor numérico de la magnitud elegida. Finalmente, el esquema puede ser impreso, copiado al portapapeles de Windows o exportado como fichero DXF o bien como fichero metafile de Windows.

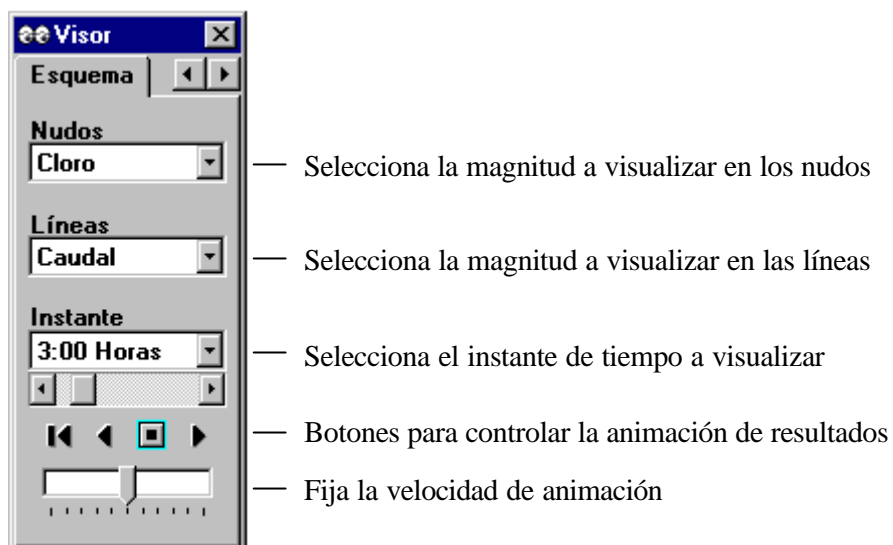
#### 4.6 El Visor de Datos

El *Visor de Datos* (ver figura) es accesible desde la pestaña de *Datos* de la ventana del Visor. Permite acceder a los diferentes objetos pertenecientes a la red en estudio, clasificados por categorías (Nudos de Caudal, Tuberías, etc). Los botones que figuran del pie de la ventana se utilizan para añadir, borrar o editar dichos objetos.







#### 4.7 El Visor del Esquema

El *Visor del Esquema* (ver figura) es accesible desde la pestaña del *Esquema* de la ventana del Visor. Permite seleccionar las magnitudes e instante de tiempo a visualizar mediante códigos de colores sobre el Esquema de la Red. También contiene los controles que permiten ver los resultados mediante animación.

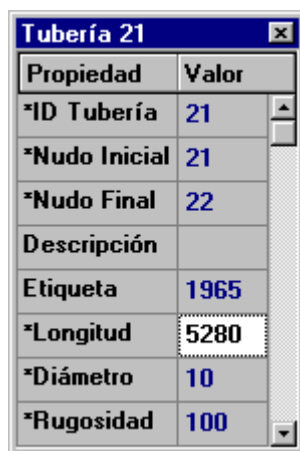




Los controles de animación que aparecen en el Visor del Esquema responden del siguiente modo:

-  Rebobinar (volver al instante inicial)
-  Animar retrocediendo en el tiempo
-  Parar la animación
-  Animar avanzando en el tiempo

#### 4.8 El Editor de Propiedades



Propiedad	Valor
*ID Tubería	21
*Nudo Inicial	21
*Nudo Final	22
Descripción	
Etiqueta	1965
*Longitud	5280
*Diámetro	10
*Rugosidad	100

El *Editor de Propiedades* (ver figura) se utiliza para editar las propiedades de los nudos y líneas de la red, el contenido de los rótulos y también las opciones de cálculo. Se abre al pulsar dos veces con el ratón uno de estos objetos (sobre el Esquema de la Red o el *Visor de Datos*) o bien al pulsar el botón Editar del Visor de Datos. A continuación se dan algunas instrucciones para el uso del Editor.

- El Editor es una tabla con dos columnas – una para el nombre de la propiedad y otra para el valor de la misma.
- El ancho de las columnas puede modificarse alargando o acortando las cabeceras de las mismas con el ratón
- La ventana del Editor puede moverse o redimensionarse siguiendo los procedimientos normales de Windows.
- Un asterisco junto al nombre de la propiedad indica que ésta es requerida y su valor no puede dejarse en blanco.
- Dependiendo de la propiedad elegida, el contenido del campo puede ser alguno de los siguientes:
  - una caja de texto, donde se debe escribir un valor
  - una lista de opciones desplegable, de las cuales debe elegirse una
  - un botón con puntos suspensivos, cuya pulsación llama a un editor especializado
  - una etiqueta de solo lectura, para mostrar los resultados obtenidos
- La propiedad del Editor actualmente seleccionada se resalta mostrando su fondo en blanco.

- Se puede navegar entre las distintas propiedades mediante el ratón o utilizando las flechas Arriba y Abajo del teclado.
- Para comenzar a editar la casilla seleccionada introducir directamente un nuevo valor o pulsar la tecla Intro.
- Para que EPANET acepte el valor introducido basta pulsar la tecla Intro o moverse a otra casilla; para cancelar, pulsar Esc.
- Pulsando el botón Cerrar de la esquina derecha de la barra del título, se cerrará el Editor.

## 4.9 Preferencias del Programa

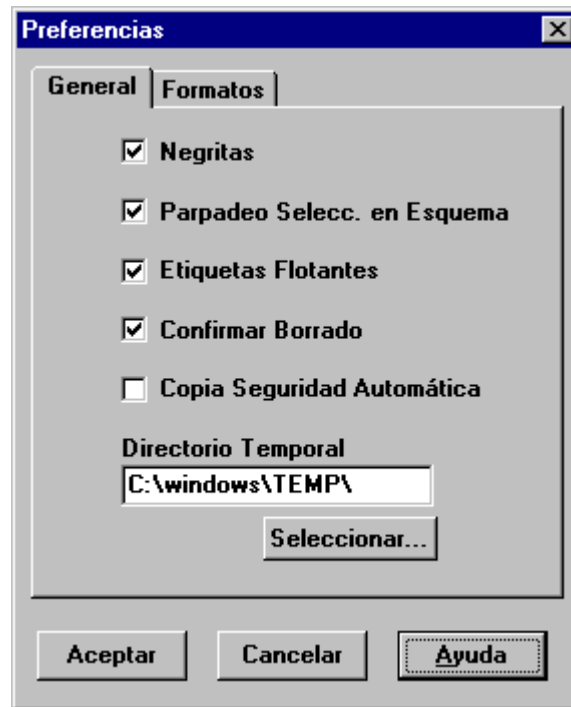
Las *Preferencias del Programa* permiten la personalización de ciertas características del mismo. Para fijarlas hay que seleccionar la opción **Preferencias** del menú **Archivo**. Se abrirá un diálogo de Preferencias con dos páginas y sus correspondientes pestañas – una para las *Preferencias Generales* y otra para la *Preferencias de Formato*.

### Preferencias Generales

Las siguientes preferencias pueden ser fijadas desde la página *General* del diálogo Preferencias:

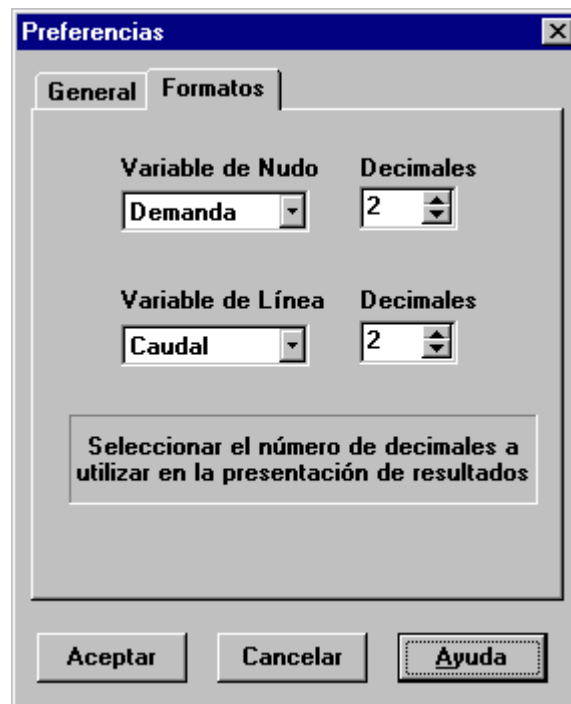
<i>Preferencia</i>	<i>Descripción</i>
Negritas	Activa/desactiva el uso de textos en negrita para todas las ventanas de nueva creación
Parpadeo Seleccionado. Esquema	Activa/desactiva el parpadeo del nudo, línea o rótulo seleccionado sobre el esquema de la red
Etiquetas Flotantes	Activa/desactiva la presentación en una caja de texto suavizada, del indicativo ID o del valor de la magnitud actual de un nudo o línea, al paso del cursor sobre él.
Confirmar Borrado	Activa/desactiva la aparición de un diálogo de confirmación antes de borrar cualquier objeto
Copia Seguridad Automática	Activa/desactiva realizar una copia de seguridad, etiquetada con la extensión <i>.bak</i> , cada vez que se abre un nuevo proyecto
Directorio Temporal	Nombre del directorio (carpeta) utilizado por EPANET para escribir los archivos temporales

**Nota:** El Directorio Temporal debe ser un directorio (carpeta) válido, con privilegios de escritura para el usuario, y debe tener suficiente espacio para guardar los archivos temporales, los cuales pueden alcanzar fácilmente varias decenas de megabytes durante la simulación de grandes redes. Por defecto se utiliza el directorio TEMP de Windows (normalmente c:\Windows\TEMP).



### Preferencias de Formato

La página de *Formato* del diálogo de Preferencias controla el número de decimales a mostrar cuando se presentan los resultados de las variables calculadas. Para seleccionar la magnitud asociada a un nudo o línea, cuyos decimales se desea fijar, utilizar las listas desplegables. Para fijar el número de decimales en cada caso, introducir éste directamente en la caja de texto correspondiente o utilizar las ruedecillas de avance y retroceso. El número de decimales mostrados para los restantes parámetros de entrada, tales como el diámetro o la longitud de una tubería, serán los introducidos por el usuario.







## CAPITULO 5 - EL ENTORNO DEL PROYECTO


---

*En este capítulo se muestra cómo EPANET utiliza los archivos de proyecto para almacenar los datos de una red. También se explica cómo fijar ciertas opciones por defecto del proyecto y cómo registrar en el proyecto los datos de calibración (medidas observadas), para posteriormente evaluar los resultados del modelo.*

### 5.1 Abrir y Cerrar Archivos de Proyecto


Los Archivos de Proyecto contienen toda la información utilizada para modelar una red. Se caracterizan normalmente por tener la extensión .NET .

Para crear un nuevo proyecto:


1. Seleccionar **Archivo >> Nuevo** desde la Barra de Menús o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar.
2. Antes de crear el nuevo proyecto se preguntará si se desea guardar el proyecto actual (caso de haber realizado cambios en él).
3. Seguidamente se crea un nuevo proyecto sin nombre, con todas las opciones puestas en su valor por defecto.

Cuando se arranca EPANET por primera vez se crea automáticamente un proyecto nuevo.

Para abrir un proyecto ya existente y almacenado en disco:

1. Seleccionar **Archivo >> Abrir** de la Barra de Menús, o bien pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar.
2. Se preguntará si se quiere guardar el proyecto actual (caso de haber realizado cambios en él).
3. Seleccionar el fichero que se desea abrir, en el diálogo *Abrir un Proyecto*. Se puede elegir entre un archivo de tipo Proyecto previamente almacenado desde EPANET (usualmente con la extensión .NET) o un archivo de Texto previamente exportado desde EPANET o bien confeccionado directamente por el usuario (usualmente con la extensión .INP)<sup>11</sup>. EPANET reconoce los ficheros por su contenido, y no por su nombre.
4. Pulsar **Abrir** para cerrar el diálogo y abrir el fichero seleccionado.

Para guardar un proyecto, manteniendo su nombre actual:

- Seleccionar **Archivo >> Guardar** de la Barra de Menús, o bien pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar.

---

<sup>11</sup> Los ficheros .INP de la versión 1.1 son también reconocidos (NdT)

Para guardar un proyecto utilizando un nombre diferente:

1. Seleccionar **Archivo >> Guardar como** desde la Barra de Menús.
2. Desde el diálogo estándar *Guardar el Proyecto como*, seleccionar la carpeta y el nombre de fichero con el cual se desea guardar el proyecto.

**Nota:** Los proyectos se almacenan siempre como ficheros binarios .NET. Para guardar los datos de un proyecto en formato ASCII legible, utilizar el comando **Exportar >> Red del Menú Archivo**.

## 5.2 Valores por Defecto del Proyecto

Cada proyecto tiene un conjunto de valores por defecto, que serán adoptados a menos que el usuario los modifique. Estos valores por defecto pueden clasificarse en tres categorías:

- Identificativos ID por defecto (son las etiquetas utilizadas para identificar los nudos y líneas en el momento en que se crean)
- Propiedades por defecto de nudos y líneas (p.ej., cota de un nudo, longitud, diámetro o rugosidad de una tubería, etc)
- Opciones hidráulicas de cálculo por defecto (p.ej., sistema de unidades, ecuación de pérdidas, etc.)

Para fijar los valores por defecto de un proyecto:

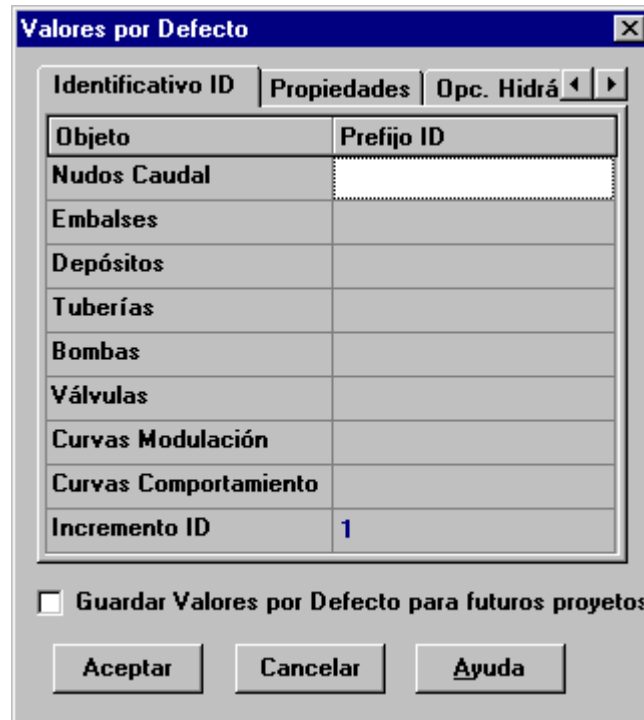
1. Seleccionar **Proyecto >> Valores por Defecto** desde la Barra de Menús.
2. Se mostrará seguidamente un diálogo de *Valores por Defecto* con tres páginas, una por cada una de las categorías anteriores.
3. Validar la casilla situada en la parte inferior derecha del diálogo, si se desea mantener las opciones elegidas para futuros proyectos.
4. Pulsar el botón **Aceptar** para aceptar las opciones elegidas como valores por defecto.

A continuación se analizan las particularidades de los distintos valores por defecto, por categorías.

### Identificativos ID por Defecto

La figura 5.1 muestra la página de *Identificativos ID* del diálogo *Valores por Defecto*. En ella se establece el modo en que EPANET irá asignando los identificativos automáticamente a los diversos componentes de la red, a medida que son creados. Para cada tipo de objeto se puede introducir un prefijo, o bien dejar el campo en blanco si se pretende que el identificador asignado sea simplemente un número. Finalmente, en la última celda de la página se establece el incremento a utilizar para crear el nuevo número, el cual será añadido al prefijo establecido más arriba para cada componente. Por ejemplo, si definimos el prefijo Q para caracterizar a los Nudos de Caudal, y fijamos el incremento en 5, éstos irán recibiendo los identificativos Q5, Q10, Q15, etc a medida que son creados.

Una vez creado un objeto, se puede utilizar posteriormente el Editor de Propiedades para modificar su ID si fuera necesario.



**Figura 5.1** Página para establecer los Identificativos ID por Defecto

#### Propiedades por Defecto de Nudos y Líneas

En la figura 5.2 se muestra la página de *Propiedades* del diálogo Valores por Defecto. En ella se fijan los valores por defecto de algunas propiedades de nudos y líneas, que serán adoptadas en el momento en que éstos se crean. Dichas propiedades son:

- Cota de los nudos
- Diámetro de los depósitos
- Nivel máximo del agua en los depósitos
- Longitud de las tuberías
- Opción Long-Auto para las tuberías (cálculo automático de la longitud)
- Diámetro de las tuberías
- Rugosidad de las tuberías

Cuando se activa la propiedad Long-Auto, la longitud de las tuberías es calculada automáticamente en el momento en que ésta es añadida o restituida. Cualquiera de estas propiedades asignadas por defecto puede modificarse posteriormente mediante el Editor de Propiedades.

Propiedad	Valor por Defecto
Cota Nudos	0
Diámetro Depósitos	50
Nivel Máx Depósitos	20
Longitud Tuberías	1000
Longitud Automática	No
Diámetro Tuberías	12
Rugosidad Tuberías	100

Guardar Valores por Defecto para futuros proyectos

Aceptar Cancelar Ayuda

**Figura 5.2** Página para establecer las Propiedades por Defecto

### Opciones Hidráulicas por Defecto

La tercera página del diálogo Valores por Defecto se destina a la fijación de determinadas opciones de cálculo por defecto. Contiene las mismas opciones que aparecen en el diálogo *Opciones Hidráulicas*, accesible desde la ventana del Visor (ver Sección 8.1) o mediante el comando **Proyecto >> Opciones de Cálculo...** de la Barra de Menús. Al estar todas estas opciones recogidas en el diálogo Valores por Defecto, pueden guardarse para ser utilizadas tanto en el proyecto actual como en futuros proyectos. Las Opciones Hidráulicas más importantes a verificar cuando se crea un nuevo proyecto son: las Unidades de Caudal, la Fórmula de Pérdidas de Carga y la Curva de Modulación por Defecto. La opción relativa a las Unidades de Caudal determina al mismo tiempo si las restantes magnitudes del proyecto serán expresadas en unidades convencionales US o en unidades métricas SI. La opción relativa a la Fórmula de Pérdidas de Carga determina el significado del coeficiente de rugosidad a proporcionar para cada tubería. Finalmente, la Curva de Modulación asignada por Defecto será utilizada para fijar la modulación de la demanda en todos aquellos nudos en que ésta no se declare explícitamente.

### 5.3 Datos de Calibración

EPANET permite comparar los resultados de una simulación con las medidas de campo, contrastando éstos con las curvas de evolución de la magnitud medida en los puntos correspondientes de la red, o mediante Informes de Calibración específicos, en los cuales se analizan globalmente los resultados de la comparación para un conjunto de puntos de medida en la red. Para poder efectuar



la comparación, los valores medidos deben alojarse en ficheros de texto, y éstos a su vez deben declararse previamente en el entorno de proyecto de EPANET.

### Ficheros de Calibración

Un *Fichero de Calibración* es un fichero de texto que contiene los valores medidos de una determinada magnitud en uno o más puntos de la red, a lo largo de un cierto periodo de tiempo. El fichero proporciona una serie de valores observados, los cuales pueden contrastarse con los resultados obtenidos por simulación. Para contrastar diferentes magnitudes (p. ej. presiones, flúor, cloro, caudal, etc) o bien la misma magnitud en distintos periodos de muestreo, se deben utilizar ficheros diferentes. Cada línea del fichero debe contener la siguiente información:

- *Localización* – Identificativo ID del elemento de la red sobre el cual se ha efectuado la medida
- *Instante* - Tiempo (en horas) en que se efectuó la medida
- *Valor* – Resultado de la medida

La medida del tiempo debe estar referida a la hora de comienzo de la simulación, con respecto a la cual se desea contrastar el Fichero de Calibración. El instante de tiempo puede introducirse bien como número decimal (p.ej. 27,5) o con el formato horas:minutos (p.ej. 27:30). Para los datos referentes a una simulación en régimen permanente, el valor del tiempo será 0. Se pueden añadir líneas de comentario, anteponiéndoles un punto y coma (;). Para una serie de medidas realizadas sobre el mismo punto no es necesario repetir el ID de éste cada vez, pudiendo dejarse la columna correspondiente en blanco, una vez declarado el ID en la primera línea. A continuación se muestra un extracto de un Fichero de Calibración.

```
;Medidas de flúor como trazador
;Localiz.   Instante   Valor
;-----
      N1         0       0.5
              6.4      1.2
              12.7     0.9
      N2         0.5     0.72
              5.6      0.77
```

### Registro de los Datos de Calibración

Para registrar en el entorno del proyecto los datos que residen en un Fichero de Calibración:

1. Seleccionar **Proyecto >> Datos Calibración** desde la Barra de Menús.
2. En el diálogo *Datos de Calibración* mostrado en la figura 5.3, seleccionar la celda de texto junto al parámetro cuyos valores se han registrado.
3. Introducir el nombre del Fichero de Calibración para dicho parámetro, o bien pulsar el botón **Examinar** para localizarlo.

4. Pulsar el botón **Editar** si se desea abrir el Fichero de Calibración con el Bloc de Notas de Windows para editarlo.
5. Repetir los pasos 2 a 4 para cualquier otro parámetro del que se posean datos de calibración.
6. Pulsar el botón **Aceptar** para aceptar los nombre de los ficheros introducidos.

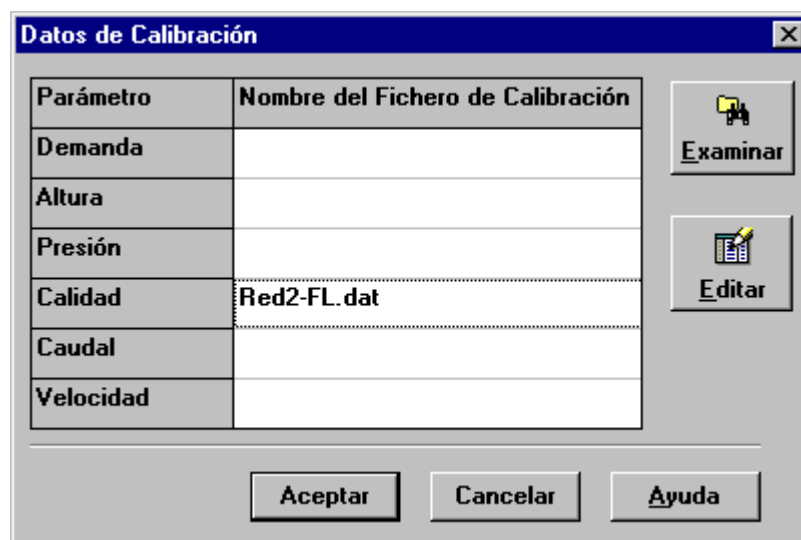


Figura 5.3 Diálogo de Datos de Calibración

#### 5.4 El Resumen del Proyecto

Para ver un *Resumen* del contenido del proyecto actual, seleccionar la opción **Proyecto >> Resumen** de la Barra de Menús. Aparecerá el diálogo *Resumen del Proyecto*, en el cual se puede introducir o editar el título del proyecto, y añadir también un texto adicional describiendo los aspectos más relevantes del mismo. Cuando se abra la próxima vez un proyecto previamente almacenado, en el diálogo Abrir Proyecto se mostrarán ambos textos, en un recuadro a la derecha del nombre del fichero seleccionado en cada momento. Ello resulta sumamente útil para localizar el fichero buscado. En el diálogo del Resumen del Proyecto se muestran también determinados datos globales del mismo, tales como el número de nudos, tuberías, bombas, etc.

## CAPITULO 6 - MANIPULACION DE OBJETOS

---

*EPANET utiliza varios tipos de objetos para construir el modelo de una red de distribución. Estos objetos son accesibles directamente desde el esquema de la red o bien desde el Visor de Datos. En este capítulo se describe la naturaleza de dichos objetos y cómo se crean, seleccionan, editan, borran o reconfiguran.*

### 6.1 Tipos de Objetos

Un modelo de EPANET se compone de objetos físicos, los cuales aparecen representados sobre el esquema de la red, y objetos sin representación física, los cuales contienen información sobre el diseño y operación de la red. Todos estos objetos pueden clasificarse en las siguientes categorías:

#### (1) Nudos

- (a) Nudos de Caudal
- (b) Embalses
- (c) Depósitos

#### (2) Líneas

- (a) Tuberías
- (b) Bombas
- (c) Válvulas

#### (3) Rótulos

#### (4) Curvas de Modulaci3n

#### (5) Curvas de Comportamiento




#### (6) Leyes de Control

- (a) Simples
- (b) Basadas en Reglas


### 6.2 Añadir Objetos

Añadir un Nudo

Para aÑadir un *Nudo* utilizando la Barra de Herramientas del Esquema de la Red:




1. Pulsar el bot3n de la Barra del Esquema correspondiente al tipo de nudo a aÑadir (*Nudo de Caudal* , *Embalse* , o *Dep3sito* ) , si no se encuentra ya activo.
2. Mover el rat3n hasta el punto deseado del 3rea de dibujo, y pulsar el bot3n izquierdo.

Para añadir un *Nudo* utilizando la ventana del Visor:

1. Seleccionar el tipo de nudo a añadir (*Nudo de Caudal*, *Embalse o Depósito*) de la lista de Categorías de Objetos del Visor de Datos.
2. Pulsar el botón *Añadir* .
3. Introducir las coordenadas del punto con el *Editor de Propiedades* (opcional).


Añadir una Línea

Para añadir una *Línea Recta o Poligonal* utilizando la Barra de Herramientas del Esquema de la Red:

1. Pulsar el botón de la Barra del Esquema correspondiente al tipo de línea a añadir (*Tubería* , *Bomba* , o *Válvula* ) , si no se encuentra ya activo.
2. Sobre el esquema de la red, pulsar con el ratón en el nudo inicial de la línea, el cual deberá ser alguno de los ya definidos.
3. Mover el ratón en la dirección del nudo final, marcando con el botón izquierdo los puntos intermedios necesarios para guiar el trazado de la línea.
4. Pulsar con el botón izquierdo del ratón sobre el nudo final de la línea, que deberá ser también alguno de los ya definidos, a excepción del nudo inicial.


Al presionar el botón derecho del ratón o la tecla *Esc* mientras se está dibujando una línea, ésta será anulada.

Para añadir una *Línea Recta* utilizando la ventana del Visor:

1. Seleccionar el tipo de línea a añadir (*Tubería*, *Bomba o Válvula*) de la lista de Categorías de Objetos del Visor de Datos.
2. Pulsar el botón *Añadir* .
3. Introducir los ID de los nudos extremos desde el *Editor de Propiedades*.

Añadir un Rótulo

Para añadir un *Rótulo* sobre el esquema de la red:


1. Pulsar el botón *Rótulo*  de la Barra de Herramientas del Esquema de la Red.
2. Pulsar el botón izquierdo del ratón sobre el punto del área del dibujo en que se desea fijar el comienzo del rótulo.
3. Introducir el texto del rótulo.
4. Pulsar la tecla **Intro**.






### Añadir una Curva de Comportamiento

Para añadir una *Curva de Comportamiento* a la base de datos de la red:

1. Seleccionar *Curva Comport.* en la lista de Categorías de Objetos del Visor de Datos.
2. Pulsar el botón *Añadir* .
3. Editar la curva utilizando el *Editor de Curvas de Comportamiento* (ver más adelante).

### Añadir una Curva de Modulación (o Patrón)

Para añadir una *Curva de Modulación* o *Patrón* a la base de datos de la red:


1. Seleccionar *Curva Modulac.* en la lista de Categorías de Objetos del Visor de Datos.
2. Pulsar el botón *Añadir* .
3. Editar la curva de modulación utilizando el *Editor de Curvas de Modulación* (ver más adelante).

### Utilización de Ficheros de Texto

Además de añadir individualmente los objetos de modo interactivo, se puede también importar un fichero de texto conteniendo la lista de nudos, con sus identificativos ID y sus coordenadas, junto a la lista de líneas, con sus identificativos ID y los de los nudos que conecta (ver apartado 11.4 – *Importación Parcial de la una Red*).

## 6.3 Selección de Objetos

Para seleccionar un objeto sobre el esquema:


1. Asegurarse primero que el cursor se encuentra en modo *Selección* (en forma de flecha apuntando hacia la izquierda). Para cambiar a este modo pulsar el botón *Seleccionar Objeto*  de la Barra del Esquema o bien elegir la opción **Seleccionar Objeto** del Menú **Edición**.
2. Pulsar con el ratón sobre el objeto deseado del esquema.

Para seleccionar un objeto utilizando la ventana del Visor:

1. Seleccionar la categoría del objeto, de la lista desplegable del Visor de Datos.
2. Seleccionar el objeto deseado de la lista que aparece debajo del desplegable.

## 6.4 Edición de los Objetos Visibles

Para editar las propiedades de los objetos que pueden observarse sobre el esquema de la red (Nudos de Caudal, Embalses, Depósitos, Tuberías, Bombas, Válvulas o Rótulos) se emplea el *Editor de Propiedades* (ver apartado 4.8). Para editar cualquiera de ellos, seleccionarlo primero sobre el Esquema de la Red o

desde el Visor de Datos, y pulsar a continuación el botón *Editar*  del Visor (o bien realizar simplemente una doble pulsación sobre el objeto seleccionado). En las Tablas 6.1 a 6.7 se describen las propiedades de cada uno de los objetos, según su tipo.

**Nota:** Las unidades en que se expresan las propiedades de cada objeto dependen de las Unidades de Caudal elegidas. Si se eligen pies cúbicos, galones o acres-pies, entonces se emplearán unidades US para expresar las restantes cantidades. Si para expresar el caudal se eligen litros o metros cúbicos, entonces se emplearán unidades SI para el resto de magnitudes. Las Unidades de Caudal forman parte de las *Opciones Hidráulicas*, accesibles desde el menú **Proyecto >> Valores por Defecto**. Las unidades empleadas para cada una de las magnitudes se detallan en el Apéndice A.

**Tabla 6.1** Propiedades de los Nudos de Caudal

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
ID Nudo Caudal	Etiqueta que identifica unívocamente a cada nudo. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ningún otro nudo. Esta propiedad es obligatoria.
Coordenada X	Posición horizontal del nudo sobre el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el nudo no será representado en el esquema.
Coordenada Y	Posición vertical del nudo sobre el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el nudo no será representado en el esquema.
Descripción	Cadena de texto opcional, que describe alguna información relevante del nudo.
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios), utilizada para clasificar el nudo dentro de una categoría (p. ej. un piso de presión).
Cota	Cota del nudo en pies (metros), respecto a un nivel de referencia común para toda la red. Es una propiedad requerida. La cota se utiliza sólo para calcular la presión en el nudo. No afecta a ningún otro resultado.
Demanda Base	Consumo medio o nominal en el nudo para el principal tipo de consumidor, expresado en las unidades de caudal actuales. Un valor negativo indica que el caudal es entrante al nudo. Si se deja en blanco, el caudal se supone cero.
Curva de Demanda	Identificativo ID de la curva de modulación empleada para caracterizar la variación de la demanda en el tiempo, para el principal tipo de consumidor. La curva de modulación está configurada por los factores que, aplicados sobre la Demanda Base, nos determinan la demanda real en cada instante. Si se deja en blanco, se toma la <b>Curva de Modulación por Defecto</b> asignada en las <i>Opciones Hidráulicas</i> (ver apartado 8.1)
Tipos de Demanda	Número de tipos de usuario distintos considerados en el nudo. Pulsando el botón con puntos suspensivos (o presionando la tecla Intro) se abre el <i>Editor de Demandas</i> , que permite asignar las demandas base y sus curvas de modulación para los distintos tipos de usuarios considerados en el nudo. Si basta con considerar un solo de demanda, ignorar esta opción



Coeficiente del Emisor	Coeficiente de descarga del emisor (rociador o tobera) ubicado en el nudo. Dicho coeficiente representa el caudal (en las unidades actuales) que sale por el emisor para una caída del presión en el mismo de 1 psi (ó 1 metro). Si no hay ningún emisor en el nudo, dejar en blanco. Ver la sección Emisores en el apartado 3.1 para más detalles
Calidad Inicial	Valor del parámetro de calidad del agua en el nudo, al comienzo de la simulación. Puede dejarse en blanco si no se va a realizar un modelo de calidad o si el valor de la calidad inicial es cero.
Intensidad de la Fuente	Determina la calidad del agua que entra en la red por este punto. Pulsar el botón con puntos suspensivos (o presionar la tecla Intro) para abrir el <i>Editor de Fuentes Contaminantes</i> (ver apartado 6.5 más adelante).

**Tabla 6.2** Propiedades de los Embalses

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCION</i>
ID Embalse	Etiqueta que identifica unívocamente a cada embalse. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ningún otro nudo. Esta propiedad es obligatoria.
Coordenada X	Posición horizontal del embalse en el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el embalse no será representado en el esquema.
Coordenada Y	Posición vertical del embalse en el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el embalse no será representado en el esquema.
Descripción	Cadena de texto opcional que describe alguna información relevante del embalse.
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios) utilizada para clasificar el embalse dentro de una categoría (p. ej. un piso de presión).
Altura Total	Altura piezométrica (cota + presión) del agua en el embalse, en pies (metros). Es una propiedad requerida.
Curva Modulac. de la Altura	Identificativo ID de la curva de modulación empleada para caracterizar la variación de la altura total en el tiempo. Dejar en blanco si no se aplica. Esta propiedad resulta útil cuando el embalse representa un punto de conexión a otra red, en el que la variación de la presión es conocida.
Calidad Inicial	Valor del parámetro de calidad del agua en el embalse. Puede dejarse en blanco si no se va a realizar un modelo de calidad o bien si el valor es cero.
Intensidad de la Fuente	Determina la calidad del agua que entra en la red por este punto. Pulsar el botón con puntos suspensivos (o presionar la tecla Intro) para abrir el <i>Editor de Fuentes Contaminantes</i> (ver apartado 6.5 más adelante).

**Tabla 6.3** Propiedades de los Depósitos

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCION</i>
ID Depósito	Etiqueta que identifica unívocamente a cada depósito. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ningún otro nudo. Esta propiedad es obligatoria.
Coordenada X	Posición horizontal del depósito en el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el depósito no será representado en el esquema.
Coordenada Y	Posición vertical del depósito en el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el depósito no será representado en el esquema.
Descripción	Cadena de texto opcional que describe alguna información relevante del depósito.
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios) utilizada para clasificar el depósito dentro de una categoría (p. ej. un piso de presión).

Cota de Solera	Cota en pies (metros), respecto a un nivel de referencia común, de la solera (fondo) del depósito. Es una propiedad requerida.
Nivel Inicial	Nivel del agua en el depósito, en pies (metros), al comienzo de la simulación. Es una propiedad requerida.
Nivel Mínimo	Nivel mínimo del agua a mantener en el depósito, en pies (metros). Durante la simulación no se permitirá que el agua descienda por debajo de dicho nivel. Es una propiedad requerida.
Nivel Máximo	Nivel máximo del agua en el depósito, en pies (metros). Durante la simulación no se permitirá que el agua supere dicho nivel. Es una propiedad requerida.
Diámetro	Diámetro del depósito, en pies (metros). Para depósitos cilíndricos será el diámetro real. Para depósitos cuadrados o rectangulares, el diámetro equivalente es igual a 1,128 veces la raíz cuadrada de la sección transversal. Para depósitos aforados mediante una Curva de Cubicación, el valor de este parámetro es irrelevante. En cualquier caso, es una propiedad requerida.
Volumen Mínimo	Es el volumen de agua en el depósito correspondiente al nivel mínimo, expresado en pies cúbicos (metros cúbicos). Es una propiedad opcional para tener en cuenta el agua almacenada en el fondo del depósito a efectos del modelo de calidad, en el caso de no disponer de una Curva de Cubicación (ver más adelante). Suele coincidir con el denominado volumen de reserva.
Curva de Cubicación	Identificativo ID de la curva de cubicación que relaciona el volumen de agua almacenado con el nivel en el depósito. Si no se proporciona ningún valor se admite que el depósito es cilíndrico.
Modelo de Mezcla	<p>Identifica el modelo de mezcla aplicable en el depósito, a efectos del modelo de calidad. Puede ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Completa (mezcla homogénea),</li> <li>• 2Compart. (mezcla en dos compartimentos),</li> <li>• Pistón FIFO (flujo en pistón – el primer volumen que entra es el primero que sale),</li> <li>• Pistón LIFO (flujo en pistón – el último volumen que entra es el primero que sale).</li> </ul> <p>Para más información, ver el epígrafe <i>El proceso de Mezcla en los Depósitos</i> del apartado 3.4</p>
Fracción de Mezcla	Fracción del volumen total del depósito correspondiente al compartimento que engloba a las tuberías de entrada y salida, en un modelo de mezcla de dos compartimentos (2Compart).
Coefficiente de Reacción	Coefficiente de reacción en el seno del agua del depósito, para las sustancias reactivas, expresado en 1/día. El coeficiente será positivo para las reacciones en las que la cantidad de sustancia crece con el tiempo, y negativo en las que decrece. Si se deja en blanco se aplicará el coeficiente de reacción global en el medio, declarado para todo el proyecto en el diálogo <i>Opciones de Reacciones</i> . Para más información, ver el epígrafe <i>Reacciones que afectan a la Calidad del Agua</i> , del apartado 3.4.
Calidad Inicial	Valor del parámetro de calidad del agua en el nudo, al comienzo de la simulación. Puede dejarse en blanco si no se va a realizar un modelo de calidad o si el valor de la calidad inicial es cero.
Intensidad de la Fuente	Determina la calidad del agua que entra en la red por este punto. Pulsar el botón con puntos suspensivos (o presionar la tecla Intro) para abrir el <i>Editor de Fuentes Contaminantes</i> (ver apartado 6.5 más adelante).

**Tabla 6.4** Propiedades de las Tuberías

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Tubería	Etiqueta que identifica unívocamente a cada tubería. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ninguna otra línea. Esta propiedad es obligatoria.
Nudo Inicial	Identificativo ID del nudo en que comienza la tubería. Es una propiedad requerida.
Nudo Final	Identificativo ID del nudo en que termina la tubería. Es una propiedad requerida.
Descripción	Cadena de texto opcional que describe alguna información relevante de la tubería.
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios) utilizada para clasificar la tubería dentro de una categoría (p. ej. por edad o por material).
Longitud	Longitud real de la tubería, en pies (metros). Es una propiedad requerida.
Diámetro	Diámetro de la tubería, en pulgadas (mm). Es una propiedad requerida.
Rugosidad	Coefficiente de rugosidad de la tubería. Es adimensional para la fórmula de Hazen-Williams o de Chezy-Manning, y tiene unidades de milipés (mm) para la fórmula de Darcy-Weisbach. Es una propiedad requerida.
Coef. Pérdidas Menores	Coefficiente adimensional de pérdidas menores asociado con los codos, singularidades, accesorios, etc. Si se deja en blanco se tomará como 0.
Estado Inicial	Especifica si la tubería se encuentra inicialmente abierta, cerrada o contiene una válvula de retención. En este último caso, la dirección permitida del flujo será del Nudo Inicial al Nudo Final.
Coef. Reacción en el Medio	Coefficiente de reacción en el medio para la tubería. Sus unidades son 1/día, para reacciones de primer orden. Un valor positivo indica crecimiento de la sustancia y un valor negativo decrecimiento. Si se deja en blanco, se aplicará el valor del Coef. Global de Reacción en el Medio declarado en el diálogo Opciones de Reacciones. Para más información, ver el epígrafe <i>Reacciones que afectan a la Calidad del Agua</i> , en el apartado 3.4
Coef. Reacción en la Pared	Coefficiente de reacción en la pared de la tubería. Sus unidades son masa/ft <sup>2</sup> /día (masa/m <sup>2</sup> /día) para reacciones de orden 0 y ft/día (m/día) para reacciones de orden 1. Un valor positivo indica crecimiento y un valor negativo decrecimiento. Si se deja en blanco, se aplicará el valor del Coef. Global de Reacción en la Pared declarado en el diálogo Opciones de Reacciones. Para más información, ver el epígrafe <i>Reacciones que afectan a la Calidad del Agua</i> , en el apartado 3.4

**Nota:** Las longitudes de las Tuberías pueden calcularse automáticamente a medida que son añadidas al esquema o se modifica su trazado, si la propiedad **Long-Auto** se encuentra activada. Para cambiar el estado activado/desactivado de esta propiedad, proceder de una de las siguientes maneras:

- ◆ Seleccionar **Proyecto >> Valores por Defecto** y editar el campo Long-Auto de la página de *Propiedades* del diálogo de Valores por Defecto.
- ◆ Pulsar con el botón derecho del ratón sobre la sección Long-Auto de la Barra de Estado y a continuación pulsar sobre la única opción del menú emergente.

Antes de utilizar la propiedad de Long-Auto asegurarse que las coordenadas del esquema se encuentran en la escala apropiada (ver Apartado 7.2).

**Tabla 6.5** Propiedades de las Bombas

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Bomba	Etiqueta que identifica unívocamente a cada bomba. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ninguna otra línea. Esta propiedad es obligatoria.
Nudo Aspiración	Identificativo ID del nudo en el lado de aspiración de la bomba. Es una propiedad requerida.
Nudo Impulsión	Identificativo ID del nudo en el lado de descarga de la bomba. Es una propiedad requerida
Descripción	Cadena de texto opcional que describe alguna información relevante de la bomba.
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios) utilizada para clasificar la bomba dentro de una categoría (p. ej. por edad, tamaño o localización)
Curva Característica	Identificativo ID de la curva característica utilizada para relacionar la altura proporcionada por la bomba con el caudal de paso. Si la bomba va a trabajar a potencia constante (ver campo siguiente), dejar este campo en blanco.
Potencia Nominal	Potencia suministrada por la bomba, en caballos (kW). Si se introduce este campo, se admitirá que la bomba trabaja a potencia constante, independientemente del caudal de paso. Dejar en blanco si se especifica una curva característica en su lugar. Utilizar esta opción cuando no se disponga de la curva característica de la bomba.
Velocidad Relativa	Velocidad relativa fijada para la bomba (adimensional). Por ejemplo, una velocidad relativa de 1.2 significa que la velocidad de rotación de la bomba es un 20 % mayor que su velocidad nominal.
Curva Modulac. Velocidad	Identificativo ID de la curva de modulación empleada para controlar el modo de operación de la bomba. Los coeficientes de la curva se interpretan como valores de la velocidad relativa. Un coeficiente 0 indica que la bomba está parada durante el intervalo de tiempo correspondiente. Dejar en blanco si no se aplica.
Estado Inicial	Estado de la bomba (paro o marcha) al comienzo de la simulación .
Curva Rendimiento	Identificativo ID de la curva de rendimiento de la bomba, que especifica su rendimiento (en tanto por cien) en función del caudal de paso. Esta información se utiliza únicamente para calcular el consumo de energía. Dejar en blanco si no se aplica o si se va a utilizar el rendimiento global especificado en la sección Opciones de Energías para todo el proyecto (ver Apartado 8.1).
Precio Energía	Precio medio o valor nominal de la energía, por kWh. Se utiliza únicamente para calcular el coste del consumo energético. Dejar en blanco si no se aplica o si se va a utilizar el precio global especificado en la sección Opciones de Energías para todo el proyecto (ver Apartado 8.1).
Curva Modulac. Precios	Identificativo ID de la curva de modulación aplicable para modular el precio de la energía a lo largo del día. Cada coeficiente de la curva se corresponde con el factor a aplicar sobre el Precio Base de la Energía (campo anterior) para obtener el precio real de la energía en cada periodo. Dejar en blanco si no se aplica o si se va a utilizar la curva global especificada en la sección Opciones de Energías para todo el proyecto (ver Apartado 8.1).

**Tabla 6.6** Propiedades de las Válvulas

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>														
ID Válvula	Etiqueta que identifica unívocamente a cada válvula. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ninguna otra línea. Esta propiedad es obligatoria														
Nudo Aguas Arriba	Identificativo ID del nudo aguas arriba de la válvula, por el cual entra el flujo (las válvula reductoras VRP y sostenedoras VSP permiten el flujo en una sola dirección).Es una propiedad requerida.														
Nudo Aguas Abajo	Identificativo ID del nudo aguas abajo de la válvula, por el cual sale el flujo. Es una propiedad requerida														
Descripción	Cadena de texto opcional que describe alguna información relevante de la válvula.														
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios), utilizada para clasificar la válvula dentro de una categoría (p. ej. por tipo o por localización).														
Diámetro	Diámetro de la válvula, en pulgadas (mm). Es una propiedad requerida.														
Tipo Válvula	Identificativo del tipo de válvula (VRP, VSP, VRC, VCQ, VRG, o VPG). Ver el epígrafe <i>Válvulas</i> en el Apartado 3.1 para una descripción de los distintos tipos de válvulas. Es una propiedad requerida.														
Consigna	Es un parámetro requerido que indica las condiciones de operación de la válvula.														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><u>Tipo Válvula</u></th> <th><u>Parámetro Consigna</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Reductora (VRP – PRV)</td> <td>Presión (psi o m)</td> </tr> <tr> <td>Sostenedora (VSP – PSV)</td> <td>Presión (psi o m)</td> </tr> <tr> <td>Rotura Carga (VRC – PBV)</td> <td>Presión (psi o m)</td> </tr> <tr> <td>Limit. Caudal (VCQ – FCV)</td> <td>Caudal (unidades de caudal)</td> </tr> <tr> <td>Regulación (VRG - TCV)</td> <td>Coef. Pérdidas (sin unidades)</td> </tr> <tr> <td>Propós. Gral (VPG – GPV)</td> <td>Identificativo ID de la curva de pérdidas</td> </tr> </tbody> </table>	<u>Tipo Válvula</u>	<u>Parámetro Consigna</u>	Reductora (VRP – PRV)	Presión (psi o m)	Sostenedora (VSP – PSV)	Presión (psi o m)	Rotura Carga (VRC – PBV)	Presión (psi o m)	Limit. Caudal (VCQ – FCV)	Caudal (unidades de caudal)	Regulación (VRG - TCV)	Coef. Pérdidas (sin unidades)	Propós. Gral (VPG – GPV)	Identificativo ID de la curva de pérdidas
<u>Tipo Válvula</u>	<u>Parámetro Consigna</u>														
Reductora (VRP – PRV)	Presión (psi o m)														
Sostenedora (VSP – PSV)	Presión (psi o m)														
Rotura Carga (VRC – PBV)	Presión (psi o m)														
Limit. Caudal (VCQ – FCV)	Caudal (unidades de caudal)														
Regulación (VRG - TCV)	Coef. Pérdidas (sin unidades)														
Propós. Gral (VPG – GPV)	Identificativo ID de la curva de pérdidas														
Coef. Pérdidas	Coeficiente adimensional de pérdidas menores, cuando la válvula está completamente abierta. Si se deja en blanco se tomará como 0.														
Estado Forzado	Estado forzado de la válvula al comienzo de la simulación. Si se especifica <b>Abierta</b> ó <b>Cerrada</b> , la consigna establecida para la válvula será ignorada y la válvula se comportará como una línea abierta o cerrada, según el caso. Si se especifica <b>Ninguno</b> , entonces el estado de la válvula vendrá determinado por la propia simulación. El estado de una válvula y su consigna pueden forzarse durante la simulación utilizando las Leyes de Control. Si el estado de una válvula se forzó como Abierta o como Cerrada al comienzo de la simulación, éste puede liberarse durante la simulación asignándole una nueva consigna en el momento oportuno.														

**Tabla 6.7** Propiedades de los Rótulos


PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
Texto	El texto del rótulo.
Coordenada X	Posición horizontal de la esquina superior izquierda del rótulo en el esquema, medida en las unidades del mismo. Es una propiedad requerida.
Coordenada Y	Posición vertical de la esquina superior izquierda del rótulo en el esquema, medida en las unidades del mismo. Es una propiedad requerida.
Nudo de Anclaje	Identificativo ID del nudo que sirve de anclaje del rótulo (ver Nota 1 más abajo). Dejar en blanco si no se quiere anclar el rótulo.
Tipo de Objeto	Tipo de objeto cuya magnitud asociada se desea ver en el rótulo (ver Nota 2 más abajo). Las opciones son Ninguno, un Nudo o una Línea.
ID Elemento	Identificativo ID del elemento (Nudo o Línea) cuya magnitud asociada se desea ver en el rótulo.
Fuente	Abre un diálogo sobre el cual se puede seleccionar el tipo de fuente, tamaño y estilo para el rótulo.

**Notas:**

1. La posibilidad de anclar un rótulo a un nudo o línea del esquema se utiliza para mantener el rótulo siempre próximo a dicho elemento. Así, cuando acercamos o alejamos el esquema, el rótulo estará siempre a la misma distancia del elemento (en píxeles) que cuando se dibujó inicialmente. Esta propiedad evita que los rótulos se alejen demasiado de los elementos a que hacen referencia, cuando nos acercamos excesivamente a los mismos.
2. Las propiedades Tipo de Objeto e ID Elemento, determinan si el rótulo va a utilizarse para visualizar, además del texto, el valor de una magnitud asociada. En tal caso se visualizará, a continuación del texto, el valor actual de la magnitud seleccionada en el Visor del Esquema, para el elemento ID indicado. El Tipo de Objeto y su ID deben corresponderse con algún nudo o elemento válido del esquema. En otro caso se mostrará únicamente el texto del rótulo.

**6.5 Edición de los Objetos No Visibles**

Las *Curvas de Comportamiento*, las *Curvas de Modulación* (o Patrones) y las *Leyes de Control* poseen editores especiales para definir sus propiedades. Para editar uno de estos “objetos”, seleccionarlo en el Visor de Datos y pulsar el botón

*Editar* . Además, el Editor de Propiedades para los Nudos de Caudal contiene un botón con puntos suspensivos, en el campo correspondiente a Tipos de Demanda, que al ser pulsado abre el *Editor de Demandas*. Análogamente, el campo Intensidad de la Fuente del Editor de Propiedades para los Nudos de Caudal, Embalses y Depósitos contiene un botón equivalente para abrir el *Editor de Fuentes Contaminantes*. A continuación se describen cada uno de estos editores especiales.





### Editor de Curvas de Comportamiento

El *Editor de Curvas de Comportamiento* es un diálogo como el mostrado en la figura 6.1. Para utilizar este Editor deben rellenarse los siguientes campos:

<i>Campo</i>	<i>Descripción</i>
ID Curva Comport.	Identificativo ID de la curva (un máximo de 15 caracteres numéricos o alfanuméricos)
Descripción	Texto opcional indicativo de lo que representa la curva
Tipo de Curva	Tipo de curva
Datos X-Y	Datos X-Y de los diferentes puntos de la curva

Cuando nos desplazamos de una celda a otra de la *Tabla de Datos* (o bien al pulsar la tecla Intro) los datos introducidos son verificados y la curva se redibuja instantáneamente en la ventana contigua. En el caso de introducir uno o tres puntos para caracterizar la curva de una bomba, ésta se ajustará automáticamente a una curva analítica cuya ecuación es mostrada en el recuadro *Ecuación*. Pulsar el botón **Aceptar** para consolidar la curva o el botón **Cancelar** para rechazarla. También se puede cargar una curva previamente almacenada en un fichero con el botón **Cargar**, o almacenar la curva actual en un fichero con el botón **Guardar**.

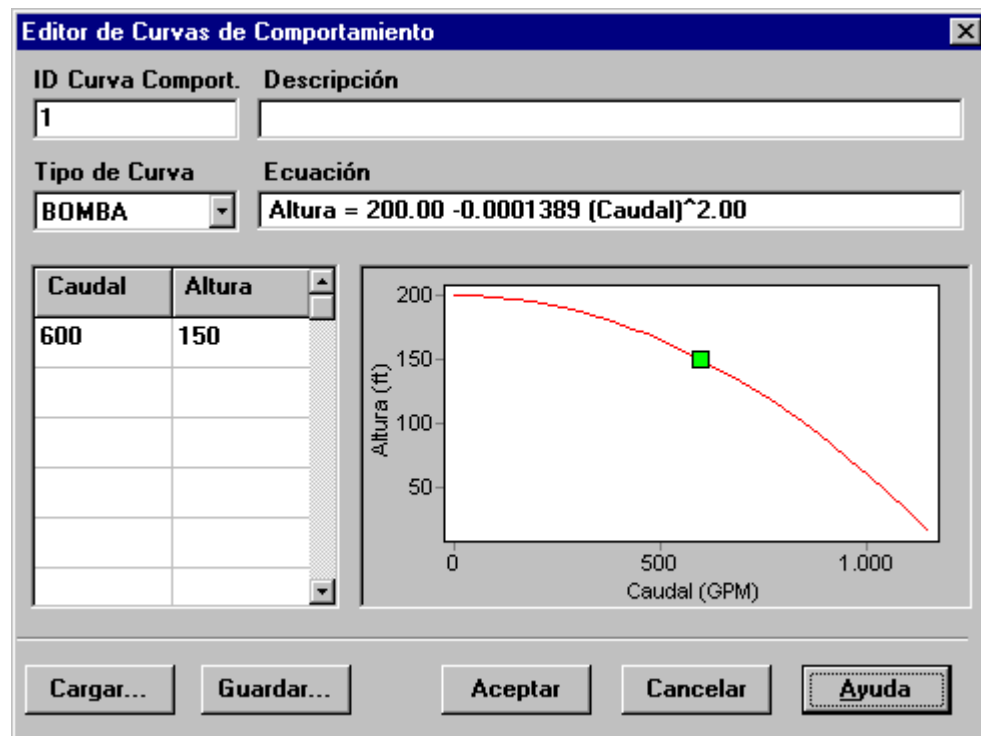


Figura 6.1 Editor de Curvas de Comportamiento

### Editor de Curvas de Modulación (Patrones)

El *Editor de Curvas de Modulación* (o Patrones), mostrado en la Figura 6.2, permite editar las propiedades de una curva constituida por factores de modulación en el tiempo, aplicables sobre una magnitud base. Para utilizar este Editor deben rellenarse los siguientes campos:

<i>Campo</i>	<i>Descripción</i>
ID Curva Modulac.	Identificativo ID de la curva de modulación (un máximo de 15 caracteres numéricos o alfanuméricos)
Descripción	Texto opcional indicativo de lo que representa la curva
Multiplicador	Factor aplicable en cada periodo de la curva de modulación.

A medida que se van introduciendo nuevos multiplicadores, la curva de modulación es redibujada automáticamente para mostrar su aspecto. Si se alcanza el último de los periodos ofrecidos en la tabla, simplemente pulsar la tecla **Intro** para añadir un nuevo periodo. Cuando se termine la edición, pulsar el botón **Aceptar** para consolidar la curva o el botón **Cancelar** para rechazarla. También se puede cargar una curva de modulación previamente almacenada en un fichero con el botón **Cargar**, o almacenar la curva de modulación actual en un fichero con el botón **Guardar**.

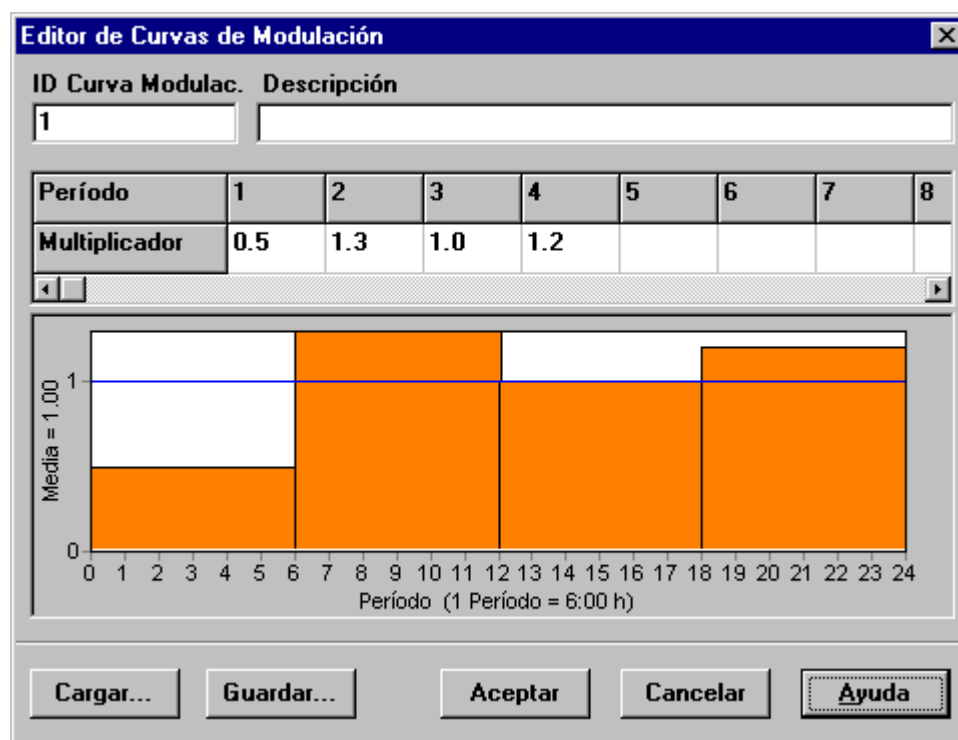


Figura 6.2 Editor de Curvas de Modulación



### Editor de Leyes de Control

El *Editor de Leyes de Control*, mostrado en la Figura 6.3, es una ventana con un editor de texto, utilizado para editar tanto las Leyes de Control Simples como las basadas en Reglas. Incorpora un menú contextual estándar para la edición del texto, que se activa pulsando con el botón derecho del ratón en cualquier punto de la ventana. El menú contiene comandos para Deshacer, Cortar, Copiar, Pegar, Eliminar y Seleccionar Todo.



**Figura 6.3** Editor de Leyes de Control

### Editor de Demandas

El *Editor de Demandas* es mostrado en la Figura 6.4. Se utiliza para asignar las demandas base y sus curvas de modulación, cuando existe más de un tipo de demanda en un nudo. Este editor es llamado desde el Editor de Propiedades, pulsando sobre el botón con puntos suspensivos que aparece cuando el foco se sitúa en el campo correspondiente a *Tipos de Demanda* (o pulsando la tecla Intro).

El editor es una tabla que contiene tres columnas. Cada tipo de demanda es introducida en una fila nueva de la tabla. Las columnas contienen la siguiente información:

- *Demanda Base*: demanda base o demanda media para cada tipo de demanda (requerido)
- *Curva Modulac.*: Identificativo ID de la curva de modulación aplicable para caracterizar la variación de la demanda en el tiempo (opcional)
- *Tipo Demanda*: texto utilizado para identificar el tipo de demanda (opcional)

	Demanda Base	Curva Modulac	Tipo Demanda
1	200	1	Doméstica
2	10	2	Industrial
3			
4			
5			
6			

**Figura 6.4** Editor de Demandas

La tabla se dimensiona inicialmente a 10 filas. Si se requieren filas adicionales, basta seleccionar cualquier celda de la última fila y pulsar **Intro**.

**Nota:** Por convención, la demanda situada en la primera fila del editor será considerada la demanda principal del nudo, y aparecerá en el campo *Demanda Base* del Editor de Propiedades.

#### Editor de Fuentes Contaminantes

El *Editor de Fuentes Contaminantes* es un diálogo emergente utilizado para describir la calidad del flujo introducido en la red por un nudo determinado. Por fuente contaminante se entiende la salida de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (ETAP), una estación de cloración a la salida de una perforación, un depósito intermedio de rechloración o la intrusión no deseada de un contaminante en la red. El Editor de Fuentes Contaminantes mostrado en la Figura 6.5 contiene los siguientes campos:

**Figure 6.5** Editor de Fuentes Contaminantes



<i>Campo</i>	<i>Descripción</i>
Tipo de Fuente	Seleccionar entre: <ul style="list-style-type: none"><li>- Concentración</li><li>- Caudal másico</li><li>- Reinyección a Punto Fijo</li><li>- Reinyección Incremental</li></ul>
Intensidad Fuente	Valor base (concentración media o caudal másico medio) de la fuente – dejar en blanco para anular la fuente
Curva Modulación	Identificativo ID de la curva de modulación que describe la variación de la intensidad de la fuente con el tiempo – dejar en blanco si no se aplica

Una fuente contaminante puede ser considerada como una fuente que fija el valor de la concentración de una sustancia, o bien que incrementa la concentración de la misma en un valor dado (reinyección).

- Una **Fuente de Concentración** fija el valor de la concentración de la sustancia para cualquier flujo externo que entra en la red, como por ejemplo el caudal procedente de un depósito o el caudal inyectado en un nudo (demanda negativa).
- Una **Fuente de Caudal Másico** añade un caudal másico determinado de una sustancia al caudal que llega al nudo desde otros nudos de la red. (el caudal másico se expresa en masa de contaminante por unidad de tiempo)
- Una **Fuente de Reinyección a Punto Fijo** fija en un cierto valor la concentración del flujo que sale del nudo (siempre que la concentración resultante al mezclar todos los flujos entrantes sea menor que la prefijada).
- Una **Fuente de Reinyección Incremental** incrementa la concentración resultante de la mezcla de todos los caudales que llegan al nudo en un valor determinado.

Las fuentes en las cuales se fija la concentración del caudal entrante, bien directamente o como caudal másico, se utilizan preferentemente para modelizar suministros de agua y plantas de tratamiento (p. ej. depósitos o nudos con un caudal asignado negativo). Las fuentes clasificadas como de reinyección o “refuerzo”, se utilizan para modelizar la inyección directa de trazadores, la adición de desinfectante en determinados puntos de la red, o la intrusión de un contaminante en la misma.

## 6.6 Copiar y Pegar Objetos

Las propiedades de cualquier objeto que forma parte del Esquema de la Red pueden copiarse y pegarse sobre cualquier otro objeto de la misma categoría. Para *Copiar* las propiedades de cualquier objeto de EPANET a su portapapeles interno:


1. Pulsar con el botón derecho del ratón sobre el objeto seleccionado.
2. Seleccionar la opción **Copiar** del menú emergente mostrado.

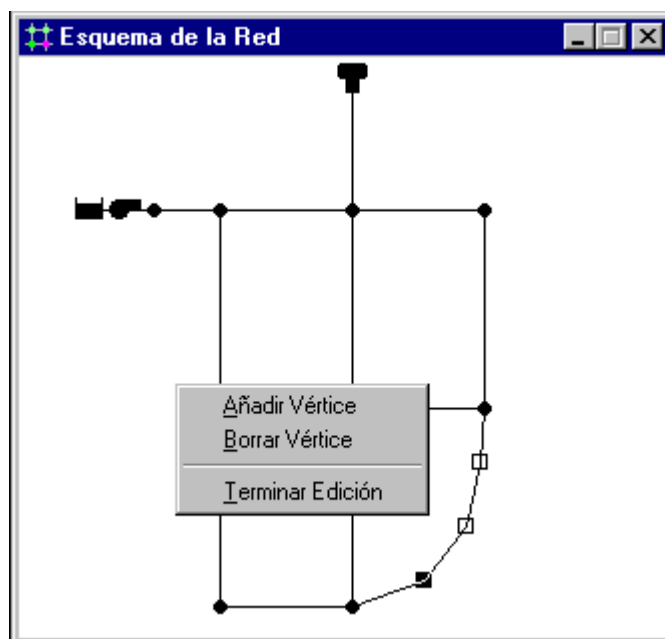
Para *Pegar* las propiedades copiadas en otro objeto:

1. Pulsar con el botón derecho del ratón sobre el objeto seleccionado.
2. Seleccionar la opción **Pegar** del menú emergente mostrado.

## 6.7 Trazado y Orientación de las Líneas

Las líneas pueden dibujarse como polilíneas compuestas de cualquier número de segmentos rectilíneos, lo que permite cambiar su dirección o curvar su trazado. Una vez una línea ha sido dibujada en el esquema, se puede aún añadir, borrar o desplazar los vértices que configuran su trazado (ver Figura 6.6). Para *Editar los Vértices* (o puntos interiores) de una línea:

1. Seleccionar la línea a editar sobre el Esquema de la Red y pulsar el botón  de la Barra de Herramientas del Esquema (o bien seleccionar **Edición >> Seleccionar Vértice** de la Barra de Menús, o pulsar con el botón derecho del ratón la línea y seleccionar la opción **Vértices** del menú emergente).
2. El puntero del ratón cambiará su forma por una flecha puntiaguda, y al mismo tiempo se mostrarán todos los vértices de la línea rodeados por un pequeño recuadro. Para seleccionar un vértice en particular, pulsar con el ratón sobre él.
3. Para añadir un nuevo vértice a la línea, pulsar el punto deseado de la línea con el botón derecho del ratón y seleccionar la opción **Añadir Vértice** del menú emergente (o simplemente pulsar la tecla **Insertar** del teclado).
4. Para borrar el vértice actualmente seleccionado, pulsar sobre él con el botón derecho del ratón y seleccionar la opción **Borrar Vértice** del menú emergente (o simplemente pulsar la tecla **Supr** del teclado).



**Figura 6.6** Modificación del Trazado de una Línea




5. Para mover un vértice a otra posición, arrastrarlo hasta la nueva posición, manteniendo el botón izquierdo del ratón pulsado.
6. Estando aún en el modo Selección de Vértices se pueden editar los vértices de otra línea pulsando sobre ella con el ratón. Para abandonar el modo Selección de Vértices, pulsar con el botón derecho del ratón en cualquier punto del área del esquema y seleccionar la opción **Terminar la Edición** del menú emergente mostrado, o bien seleccionar otro botón de la Barra de Herramientas del Esquema.

Se puede también invertir la dirección de una línea (esto es, permutar sus nudos extremos) pulsando sobre ella con el botón derecho del ratón y seleccionando la opción **Invertir** del menú emergente. Esto es útil para orientar adecuadamente bombas y válvulas direccionales que se añadieron inicialmente al esquema en una dirección equivocada.

## 6.8 Borrar un Objeto

Para *Borrar* un objeto:

1. Seleccionar el objeto sobre el esquema o en el Visor de Datos.
2. Proceder de alguna de las siguiente maneras:
  - pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar,
  - pulsar el mismo botón en el Visor de Datos,
  - pulsar la tecla **Supr** del teclado.

**Nota:** Se puede hacer que todas las operaciones de borrado sean confirmadas antes de ejecutarse. Ver la página de Preferencias Generales del diálogo de Preferencias del Programa, descrita en el Apartado 4.9.

## 6.9 Mover un Objeto


Para mover un nudo o un rótulo del esquema a otra posición:

1. Seleccionar el nudo o el rótulo.
2. Manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón sobre el objeto, arrastrarlo a la nueva posición.
3. Liberar el botón izquierdo del ratón.


Como alternativa, se pueden introducir las nuevas coordenadas X e Y del objeto en el Editor de Propiedades. Cuando un nudo se desplaza, todas las líneas conectadas a él se desplazan igualmente.

## 6.10 Seleccionar un Grupo de Objetos

Para seleccionar un grupo de objetos situados dentro de una región irregular del espacio ocupado por el esquema de la red:

1. Seleccionar **Edición >> Seleccionar Región** de la Barra de Menús o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas del Esquema.
2. Dibujar un cercado poligonal para delimitar la región de interés del esquema, pulsando con el botón izquierdo del ratón para marcar los sucesivos vértices del polígono.
3. Cerrar el polígono pulsando el botón derecho del ratón o la tecla **Intro**. Se puede cancelar la selección pulsando la tecla **Esc**.

Para seleccionar todos los objetos contenidos en la vista actual del esquema de la red, seleccionar **Edición >> Seleccionar Todo**. (Los objetos que quedan fuera del alcance de la vista actual no serán seleccionados)

Una vez que un grupo de objetos ha sido seleccionado, se pueden editar sus propiedades comunes (ver el apartado siguiente) o borrar todos los objetos seleccionados del esquema. Para esto último, pulsar el botón  o pulsar la tecla **Supr**.

## 6.11 Editar un Grupo de Objetos

Para editar las propiedades de un grupo de objetos:

1. Seleccionar la región del esquema que contiene el grupo de objetos a editar, siguiendo el proceso descrito anteriormente.
2. Seleccionar **Edición >> Editar Grupo** de la Barra de Menús.
3. Definir lo que se quiere editar en el diálogo de *Edición de un Grupo de Objeto*, mostrado en la Figura 6.7.

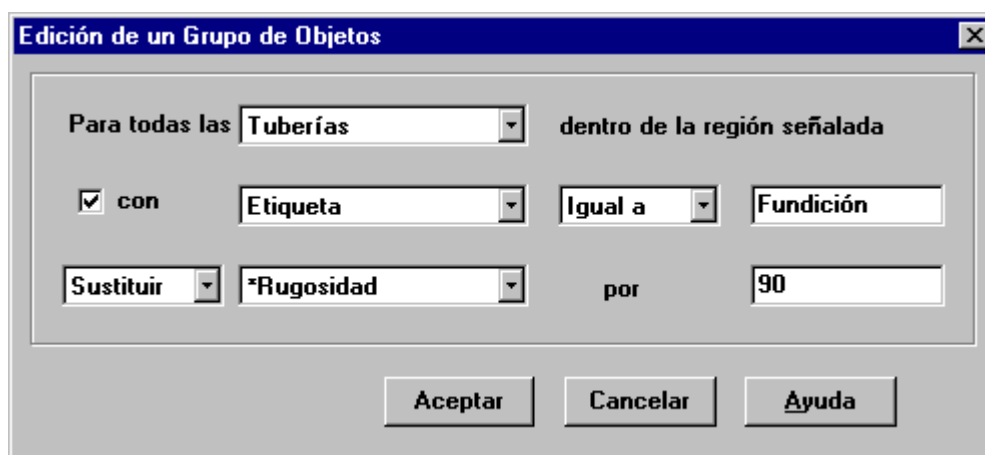


Figura 6.7 Diálogo para la Edición de un Grupo de Objetos





El diálogo para la Edición de un Grupo de Objetos se utiliza para modificar las propiedades de un grupo seleccionado de objetos. Para utilizar este diálogo:

1. Seleccionar una categoría de objetos a editar (Nudos de Caudal o Tuberías).
2. Validar la casilla “con” si se desea añadir un filtro para limitar los objetos seleccionados para su edición. Seleccionar en tal caso una propiedad, una relación y un valor para configurar el filtro. Un ejemplo podría ser “con Diámetro menor que 12”.
3. Seleccionar el tipo de cambio a realizar – Sustituir, Multiplicar o Incrementar.
4. Seleccionar la propiedad a cambiar.
5. Introducir el valor que debe reemplazar, multiplicar o añadirse al valor actual.
6. Pulsar **Aceptar** para llevar a cabo la edición.



## CAPITULO 7 - EL ESQUEMA DE LA RED

---

*EPANET trabaja básicamente sobre un Esquema de la red a modelizar. En este capítulo vamos a ver de qué modo se puede manipular el esquema para mejorar la forma de visualizarlo.*

### 7.1 Seleccionar el Modo de Presentar el Esquema

Desde el Visor del Esquema (Apartado 4.7) se seleccionan los parámetros de nudos y líneas a visualizar en el esquema. Estos se visualizan mediante un código de colores, cada uno de los cuales representa un rango de valores, tal como queda reflejado en las Leyendas del Esquema (ver más adelante).

Los parámetros asociados a los Nudos que pueden visualizarse son:

- Cota
- Demanda Base (valor nominal o demanda media)
- Calidad Inicial (calidad del agua en el instante cero)
- \*Demanda Real (demanda total en el instante actual)
- \*Altura piezométrica (cota más altura de presión)
- \*Presión
- \*Calidad del Agua

Los parámetros asociados a las Líneas que pueden visualizarse son:

- Longitud
- Diámetro
- Coeficiente de Rugosidad
- Coeficiente de Reacción en el Medio
- Coeficiente de Reacción en la Pared
- \*Caudal
- \*Velocidad
- \*Pérdida de Carga (por cada 1000 pies (metros) de tubería)
- \*Factor de Fricción (según aparece en la fórmula de pérdidas de Darcy-Weisbach)
- \*Velocidad de Reacción (promediada a lo largo de la tubería)
- \*Calidad del Agua (promediada a lo largo de la tubería)

Los parámetros marcados con un asterisco son valores calculados, los cuales estarán disponibles sólo si se ha realizado previamente una simulación con éxito (ver Capítulo 8 – Análisis de la Red).

## 7.2 Establecer las Dimensiones del Area de Dibujo

Las dimensiones físicas del área de dibujo deben definirse de forma que las coordenadas de todos los puntos del esquema puedan escalarse debidamente para ser mostradas en la pantalla del ordenador. Para fijar las dimensiones del área de dibujo:

1. Seleccionar **Ver >> Dimensiones** en el Menú Principal.
2. Introducir las nuevas dimensiones en el diálogo *Dimensiones del Área de Dibujo* mostrado (ver Figura 7.1) o pulsar el botón **Ajuste Automático** para que EPANET calcule automáticamente las dimensiones a partir de las coordenadas de todos los objetos que incorpora la red.
3. Seleccionar las unidades en que se van a expresar las coordenadas
4. Pulsar el botón **Aceptar** para redimensionar el esquema.

**Figura 7.1** Diálogo para fijar las Dimensiones del Area de Dibujo

La información configurable desde el diálogo de Dimensiones del Área de Dibujo es la siguiente:

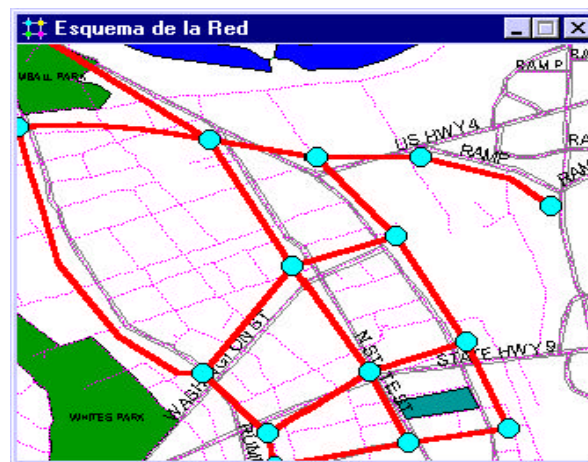
<i>Campo</i>	<i>Descripción</i>
Vértice Inferior Izquierdo	Coordenadas X e Y del vértice inferior izquierdo del área de dibujo del esquema.
Vértice Superior Derecho	Coordenadas X e Y del vértice superior derecho del área de dibujo del esquema..
Unidades del Esquema	Unidades utilizadas para medir las distancias sobre el mapa. Se puede elegir entre Pies, Metros, Grados o Ninguna (p. ej. unidades arbitrarias).
Ajuste Automático	Calcula las dimensiones automáticamente a partir de las coordenadas de todos los objetos que forman la red

**Nota:** Si se va a utilizar un mapa de fondo juntamente con la opción de calcular automáticamente la longitud de las tuberías, se recomienda fijar las coordenadas del área de dibujo inmediatamente después de crear el nuevo proyecto, ya que las unidades de medida de las distancias podrían diferir

de las empleadas para medir la longitud de las tuberías. Estas últimas (pies o metros) dependen de que las unidades elegidas para medir el caudal sean US o métricas. EPANET convierte automáticamente las unidades si fuese necesario.

### 7.3 Utilización de un Mapa de Fondo

EPANET puede mostrar un dibujo de fondo superpuesto detrás del esquema de la red. El dibujo de fondo puede contener un mapa de calles o de otros servicios públicos, un mapa cartográfico, un plan de ordenación urbana, o cualquier otro dibujo o imagen que resulte útil. Por ejemplo, disponiendo en el fondo un mapa de calles se puede facilitar el proceso de añadir tuberías a la red, al permitir la digitalización directa de su trazado con referencia al fondo.



El dibujo de fondo debe ser un fichero metafile mejorado de Windows o un fichero bitmap, creado en cualquier caso fuera del entorno de EPANET. Una vez importado, sus características no pueden ser editadas, aunque su escala y encuadre variarán conforme nos acerquemos, alejemos o desplacemos sobre el esquema de la red. Por este motivo, los ficheros de tipo metafile (vectoriales) se comportarán mejor que los bitmaps (mapa de bits) ya que los primeros no pierden resolución al ser re-escalados. La mayoría de programas de CAD y GIS ofrecen la posibilidad de guardar los ficheros de dibujo y mapas como ficheros metafile.

Si se selecciona la opción **Ver >> Mapa de Fondo** de la Barra de Menús, se mostrará un submenú con los siguientes comandos:

- **Cargar** (carga un mapa de fondo en el proyecto)
- **Descargar** (descarga el mapa de fondo del proyecto)
- **Alinear** (alinea las tuberías de la red con el mapa de fondo)
- **Mostrar/Ocultar** (muestra/oculta el mapa de fondo)

Cuando se carga por primera vez el mapa de fondo, la imagen se sitúa automáticamente haciendo coincidir su esquina superior izquierda con la del rectángulo que delimita el esquema de la red. El mapa de fondo puede reposicionarse con respecto al esquema de la red seleccionando la opción **Ver >> Mapa de Fondo >> Alinear**. Al seleccionarla, el esquema entero de la red, simplificado mediante trazos, podrá moverse libremente sobre el fondo (manteniendo el botón izquierdo del ratón pulsado) hasta hacerlo encajar con éste.


Al guardar el proyecto la próxima vez, se guardará también el nombre del fichero del mapa de fondo y su alineación actual, junto con los restantes datos del mismo.

Para obtener buenos resultados cuando se superpone un mapa de fondo:


- Utilizar ficheros metafile, con preferencia a bitmaps.
- Dimensionar el esquema de la red de modo que el rectángulo que lo delimita tenga las mismas proporciones (razón ancho ÷ alto) que el mapa de fondo.

#### 7.4 Acercar o Alejar el Esquema

Para *Acercar* el esquema de la red:


1. Seleccionar **Ver >> Acercar** en la Barra de Menús, o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas del Esquema.
2. Para acercar el esquema a una escala el doble de la actual (100%), situar el ratón en el centro del área a ampliar y pulsar el botón izquierdo del mismo.
3. Para ampliar una zona determinada, situar el ratón en la esquina superior izquierda de dicha zona, y con el botón izquierdo pulsado, arrastrar el ratón hacia la esquina opuesta, hasta que el rectángulo dibujado abarque toda la zona deseada. Finalmente, soltar el botón del mismo.

Para *Alejar* el esquema de la red:

1. Seleccionar **Ver >> Alejar** en la Barra de Menús, o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas del Esquema.
2. Situar el ratón en el punto del esquema que deseamos ocupe el centro de la pantalla, y pulsar el botón izquierdo del ratón.
3. El esquema volverá a su escala anterior, centrado sobre el punto elegido.

#### 7.5 Desplazar el Esquema

Para *Desplazar* el esquema de la red a través de la ventana:

1. Seleccionar **Ver >> Desplazar** en la Barra de Menús o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas del Esquema.
2. Pulsar con el botón izquierdo del ratón cualquier punto del área de dibujo y arrastrar el ratón en la dirección que se desee desplazar el esquema.
3. Liberar el botón del ratón para completar el desplazamiento.

Para desplazar el esquema usando la *Vista General* (ver Apartado 7.8 más adelante):


1. Si la ventana de la Vista General no estuviera visible, abrirla seleccionando la opción **Ver >> Vista General** en la Barra de Menús



2. Situar el ratón dentro de la ventana de visualización mostrada sobre la Vista General (remarcada en rojo).
3. Con el botón izquierdo del ratón pulsado, arrastrar la ventana de visualización a otra posición.
4. Al liberar el botón del ratón, el esquema de la red se desplazará automáticamente para mostrar en la ventana principal la nueva zona delimitada por la ventana de visualización.


## 7.6 Encontrar un Objeto

Para encontrar un *Nudo* o una *Línea* sobre el esquema, cuyo identificativo ID es conocido:

1. Seleccionar **Ver >> Buscar** en la Barra de Menús o pulsar el botón  sobre la Barra de Herramientas Estándar.
2. En el diálogo del *Buscador sobre el Esquema* mostrado, seleccionar la opción **Nudo** o **Línea** e introducir el identificativo ID.
3. Pulsar el botón **Buscar**.

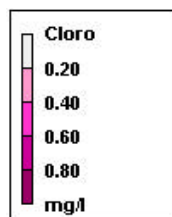
Si el nudo o línea existe, será resaltado sobre el esquema, y también en la ventana del Visor. Si el esquema de la red está ampliado, de modo que el nudo o línea buscado cae fuera de la zona visible, se desplazará automáticamente el esquema para hacer éste visible. En el diálogo del Buscador se listarán también los identificativos de todas las líneas que conectan con el nudo encontrado o, en su caso, los nudos extremos de la línea encontrada.

Para obtener una lista de todos los nudos que actúan como *Fuentes Contaminantes*:

1. Seleccionar **Ver >> Buscar** en la Barra de Menús o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar.
2. En el diálogo del *Buscador sobre el Esquema* mostrado, seleccionar la opción **Fuentes**.
3. Pulsar el botón **Buscar**.

Sobre el mismo diálogo del Buscador se mostrarán los identificativos ID de todos los nudos que tienen asociada una Fuente Contaminante. Pulsando ahora sobre cualquiera de los identificativos mostrados, éste se verá resaltado en el esquema.

## 7.7 Las Leyendas del Esquema



Se pueden mostrar hasta tres tipos de leyendas. Las *Leyendas de Nudos y Líneas* asocian un color con un rango de valores de la magnitud que está visualizándose sobre el esquema de la red. La *Leyenda Horaria* muestra la hora real correspondiente al instante de la simulación que está visualizándose. Para mostrar u ocultar cualquiera de estas leyendas, validarla o invalidarla desde la opción **Ver >> Leyendas** de la Barra de Menús, o bien pulsar en cualquier punto del área de dibujo con el botón derecho del ratón y hacer lo propio sobre el menú emergente. También se puede ocultar una leyenda haciendo una doble pulsación sobre ella con el ratón.

Para mover una leyenda a otra posición:

1. Pulsar sobre la leyenda con el botón izquierdo del ratón.
2. Con el botón pulsado, arrastrar la leyenda a su nueva posición y soltar el botón.

Para editar la Leyenda de Nudos:

1. Seleccionar la opción **Ver >> Leyendas >> Modificar >> Nudos** o bien pulsar sobre la leyenda con el botón derecho del ratón, si está visible.
2. Sobre el diálogo del Editor de Leyendas mostrado (ver Figura 7.2), modificar los colores e intervalos de la leyenda.

Para editar la Leyenda de Líneas se procede de modo similar.

El *Editor de Leyendas* (Figura 7.2) se utiliza para fijar los rangos numéricos asignados a los diferentes colores con que se visualizará una determinada magnitud sobre el esquema de la red. Las opciones de que dispone son las siguientes:

- Para delimitar los rangos aplicables, introducir los valores de éstos en los recuadros correspondientes, llevando cuidado de que queden en orden creciente. No es necesario rellenar todas las cajas de texto.
- Para cambiar un color, pulsar sobre él en la banda de colores auxiliar y seleccionar un nuevo color sobre el **Diálogo de Colores** mostrado.
- Para asignar los diferentes subrangos de modo que el rango de variación total de la magnitud seleccionada en el instante actual quede dividido en intervalos iguales, pulsar el botón **Intervalos Iguales**.
- Para asignar los diferentes subrangos de modo que el número total de elementos que entren en cada rango sea el mismo, en base a los valores de la magnitud seleccionada en el instante actual, pulsar el botón **Percentiles iguales**.
- El botón **Rampa de Colores** se utilizara para seleccionar los colores de una lista de gamas de color predeterminada.
- El botón **Invertir Colores** permite invertir el orden de los colores actualmente seleccionados (el color correspondiente al rango inferior pasa a corresponderse con el rango superior y así sucesivamente)
- Validar la opción **Marco** si se quiere ver la leyenda enmarcada en un recuadro.



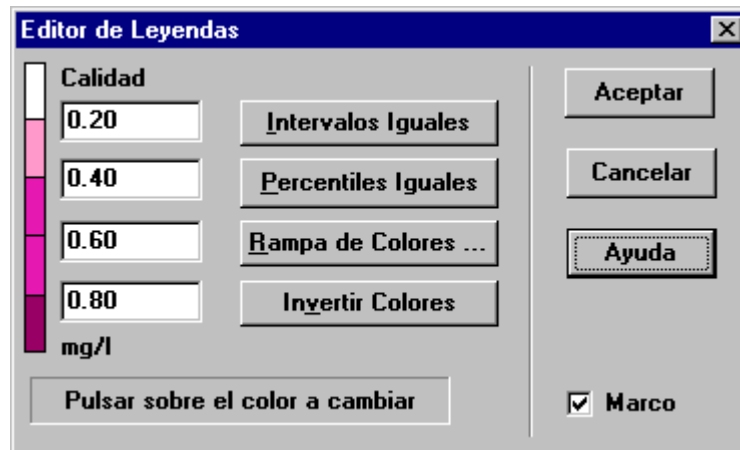
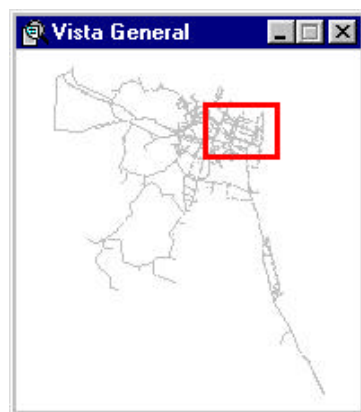


Figure 7.2 Diálogo del Editor de Leyendas


## 7.8 Vista General del Esquema

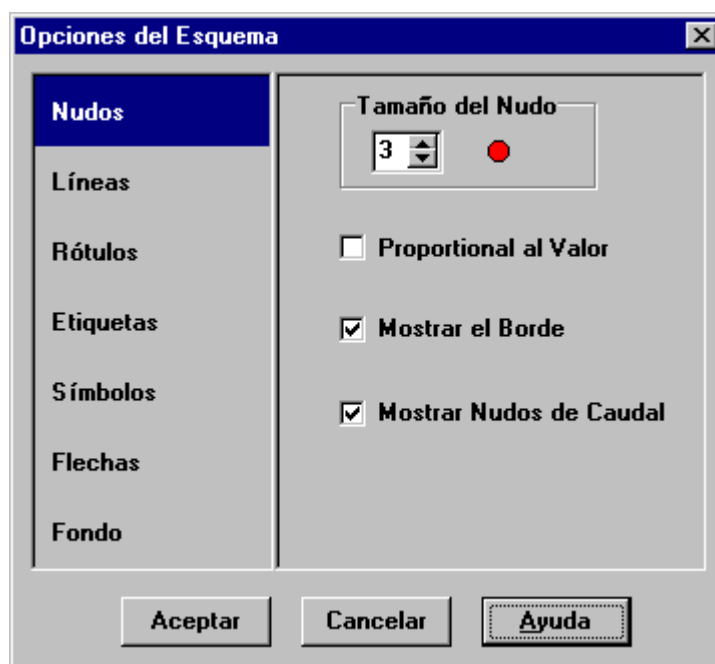


La Vista General del Esquema permite saber dónde se sitúa la zona actualmente visible en la ventana del Esquema, con relación al área ocupada por la red en su conjunto. El área visible es remarcada sobre la Vista General mediante un recuadro en rojo. A medida que se arrastra el recuadro sobre la Vista, el contenido de la ventana del Esquema se irá actualizando. Análogamente, si desplazamos la red o modificamos el zoom sobre la ventana del Esquema, el recuadro de la Vista General se irá actualizando automáticamente. La Vista General puede visualizarse u ocultarse seleccionando la opción **Ver >> Vista General** de la Barra de Menús.

## 7.9 Opciones de Visualización del Esquema

Existen diversas formas de abrir el diálogo de *Opciones del Esquema* (ver figura 7.3), el cual se utiliza para modificar el modo en que el esquema de la red es visualizado:

- seleccionar **Ver >> Opciones**, de la Barra de Menús
- pulsar el botón *Opciones*  de la Barra de Herramientas Estándar, cuando la ventana activa es la ventana del Esquema de la Red,
- pulsar con el botón derecho del ratón en cualquier parte vacía del área de dibujo y seleccionar **Opciones** del menú emergente mostrado.



**Figura 7.3** Diálogo de Opciones del Esquema

El diálogo contiene en su lado izquierdo un selector de páginas, cada una de las cuales da acceso a las opciones correspondientes de las diferentes categorías de opciones, a saber:

- *Nudos* (controla el tamaño de los nudos y si éste desea hacerse proporcional al valor de la magnitud asociada)
- *Líneas* (controla el grosor de las líneas y si éstas quieren hacerse proporcionales al valor de la magnitud asociada)
- *Rótulos* (activa /desactiva la visualización de los rótulos)
- *Etiquetas* (muestra u oculta el identificativo ID o el valor de la magnitud asociada a los nudos y líneas)
- *Símbolos* (controla la visualización o no de los símbolos que representan a depósitos, bombas y válvulas)
- *Flechas* (controla la visibilidad y el estilo de las flechas que indican la dirección del caudal en las líneas)
- *Fondo* (cambia el color del fondo del esquema)

#### Opciones de Nudos

La página de *Nudos* del diálogo de Opciones del Esquema controla la forma en que se visualizarán los nudos sobre el Esquema de la Red.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Tamaño del Nudo	Selecciona el diámetro del nudo
Proporcional al Valor	Especifica si se quiere aumentar el tamaño del nudo conforme al valor de la magnitud asociada al mismo



Mostrar el Borde	Indica si los nudos deben dibujarse rebordeados con una línea (recomendado si se emplea un fondo de color suave)
Mostrar Nudos de Caudal	Muestra los nudos de caudal (todos los nudos serán ocultados a menos que se seleccione esta opción).

### Opciones de Líneas

La página de *Líneas* del diálogo de Opciones del Esquema controla la forma de visualizar las líneas en el esquema.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Grosor de Línea	Fija el grosor con que se representarán las líneas en el esquema
Proporcional al Valor	Especifica si se quiere aumentar el grosor de la línea conforme al valor de la magnitud asociada al mismo

### Opciones de Rótulos

La página de *Rótulos* del diálogo de Opciones del Esquema controla la forma de visualizar los rótulos sobre el esquema.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Mostrar Rótulos	Muestra los rótulos sobre el esquema (los rótulos serán ocultados a menos que se seleccione esta opción)
Usar Textos Transparentes	Muestra los rótulos con un fondo transparente (en otro caso se mostrarán sobre un fondo opaco)
Escala Mínima	Fija la escala mínima (en %) a partir de la cual deben visualizarse los rótulos; a escalas inferiores serán ocultados, a menos que representen el valor de una magnitud.

### Opciones de Etiquetas

La página de *Etiquetas* del diálogo de Opciones del Esquema determina qué tipo de etiquetas van a mostrarse junto a los nudos y líneas del esquema.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Mostrar ID Nudos	Muestra los identificativos ID de los nudos
Mostrar Valores en Nudos	Muestra los valores de la magnitud actualmente asociada a los nudos
Mostrar ID Líneas	Muestra los identificativos ID de las líneas
Mostrar Valores en Líneas	Muestra los valores de la magnitud actualmente asociada a las líneas
Usar Textos Transparentes	Muestra las etiquetas con un fondo transparente (en otro caso se mostrarán sobre un fondo opaco)
Escala Mínima	Fija la escala mínima (en %) a partir de la cual deben visualizarse las etiquetas; a escalas inferiores todas las etiquetas serán ocultadas

Tamaño Fuente	Fija el tamaño de la fuente a emplear para todas las etiquetas visibles
---------------	---

**Nota:** Se pueden crear etiquetas con los valores de la magnitud actual, para determinados nudos y líneas seleccionados de la red, creando rótulos del tipo Nudo o Línea asociados a los mismos. Ver apartados 6.2 y 6.4, y en particular la Tabla 6.7.

### Opciones de Símbolos

La página de *Símbolos* del diálogo de Opciones del Esquema determina qué tipo de objetos van a verse representados mediante símbolos en el esquema.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Mostrar los Depósitos	Muestra los símbolos de los depósitos
Mostrar las Bombas	Muestra los símbolos de las bombas
Mostrar las Válvulas	Muestra los símbolos de las válvulas
Mostrar los Emisores	Muestra los símbolos de los emisores
Mostrar las Fuentes	Muestra el símbolo <b>+</b> para identificar a las fuentes contaminantes
Escala Mínima	Fija la escala mínima (en %) a partir de la cual deben visualizarse los símbolos; a escalas inferiores todos los símbolos serán ocultados

### Opciones de Flechas

La página de *Flechas* del diálogo de Opciones del Esquema controla cómo se van a visualizar sobre el esquema las flechas indicativas de la dirección del flujo.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Estilo de Flecha	Selecciona el estilo (forma) de las flechas a visualizar (seleccionar Ninguno para ocultarlas)
Tamaño de Flecha	Fija el tamaño de las flechas
Escala Mínima	Fija la escala mínima (en %) a partir de la cual deben visualizarse las flechas; a escalas inferiores todas las flechas serán ocultadas

**Nota:** Las flechas de dirección del flujo sólo podrán mostrarse después de haber realizado una simulación con éxito (ver Apartado 8.2 Ejecución de la Simulación).

### Opciones de Fondo

La página de *Fondo* del diálogo de Opciones del Esquema ofrece una selección de posibles colores a aplicar como fondo del esquema.


## CAPITULO 8 - ANÁLISIS DE LA RED

---

*Una vez se ha definido la red adecuadamente, procede pasar a analizar su comportamiento hidráulico y a evaluar la calidad del agua transportada. En este capítulo se describe cómo especificar las opciones de cálculo, cómo ejecutar una simulación, y cómo resolver los problemas que pudieran ocurrir durante el análisis.*

### 8.1 Opciones de Cálculo

Existen cinco grupos de opciones para controlar el modo en que EPANET va a llevar a cabo los cálculos: Hidráulicas, Calidad, Reacciones, Tiempos y Energías. Para fijar cualquiera de estas opciones:

1. Seleccionar la categoría *Opciones* en el Visor de Datos, o bien seleccionar **Proyecto >> Opciones de Cálculo** de la barra de menús.
2. Seleccionar desde la ventana del Visor el grupo de opciones deseado: Hidráulicas, Calidad, Reacciones, Tiempos o Energías.
3. Si el Editor de Propiedades no estuviera aún visible, pulsar el botón Editar  de la ventana del Visor (o pulsar la tecla **Intro**).
4. Editar la opción deseada desde el Editor de Propiedades.

Una vez se está editando un grupo de opciones determinado desde el Editor de Propiedades, se puede cambiar al grupo anterior o siguiente simplemente pulsando las teclas **Av. Pág.** o **Re. Pág.** respectivamente.

#### Opciones Hidráulicas

Las opciones hidráulicas controlan el modo en que se van a llevar a cabo los cálculos hidráulicos. Estas son las siguientes:

---

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Unidades de Caudal	Unidades en las cuales serán expresados los caudales en los nudos y los caudales de paso por las líneas. Si se eligen las opciones de galones, pies cúbicos o pies-acres, entonces las restantes magnitudes serán expresadas en unidades convencionales US. Si se eligen litros o metros cúbicos, entonces las restantes magnitudes se expresarán en unidades métricas SI. Hay que llevar cuidado al cambiar las unidades, porque ello puede afectar al resto de los datos del proyecto (ver Apéndice A, Unidades de Medida)

---

---

Fórmula de Pérdidas	<p>Formula utilizada para calcular las pérdidas de carga en función del caudal de paso por la tubería. Las opciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hazen-Williams</li> <li>• Darcy-Weisbach</li> <li>• Chezy-Manning</li> </ul> <p>Debido a que cada fórmula contempla la rugosidad de la tuberías de forma diferente, el cambio de fórmula puede requerir la actualización de todos los coeficientes de rugosidad de las tuberías.</p>
Peso Específico Relat.	Relación entre la densidad del fluido que circula por la red y la del agua a 4 ° C (sin unidades).
Viscosidad Relativa	Relación entre la viscosidad cinemática del fluido y la del agua a 20°C (1.0 centistokes o bien 0.94 pies <sup>2</sup> /día) (sin unidades).
Máximo Iteraciones	Número máximo de iteraciones permitido para resolver las ecuaciones no lineales que gobiernan el sistema hidráulico, en cualquier instante de la simulación. Se sugiere el valor 40.
Precisión	Criterio de convergencia utilizado para saber que se ha encontrado una solución para el conjunto de ecuaciones no lineales que gobiernan el sistema. Las iteraciones finalizan cuando la suma de todas las variaciones de caudales dividida por la suma de todos los caudales de línea es menor que este número. Se sugiere el valor 0,001.
Caso de No Equilibrio	Acción a aplicar si no se encuentra una solución en el número máximo de iteraciones permitido. Las opciones son <b>Parar</b> para detener la simulación en este punto, o <b>Continuar</b> para realizar 10 iteraciones más, durante las cuales no se permitirá el cambio de estado de las líneas, en un intento de obtener la convergencia.
Curva Modulac. por Defecto	Identificativo ID de la curva de modulación aplicable a las demandas, en aquellos nudos en que ésta no se haya especificado. Si no se declara una curva de modulación por defecto, la demanda permanecerá constante en dichos nudos.
Factor de Demanda	Factor global aplicable a todas las demandas en los nudos, con el fin de aumentar o disminuir el consumo total de la red. P. ej. un factor 2,0 duplicaría todas las demandas, un factor 0,5 las dividiría por la mitad, y un factor 1,0 las dejaría igual.
Exponente de los Emisores	Exponente al cual se elevará la presión, para calcular el caudal saliente por los emisores. El exponente recomendado en los manuales para toberas y rociadores es ½. En el caso de representar una fuga puede ser distinto. Para más detalles, ver la discusión sobre Emisores en el Apartado 3.1.
Informe de Estado	<p>Especifica el volumen de información a incluir en el informe emitido tras finalizar una simulación. Las opciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>No</b> (no se emite ningún informe)</li> <li>• <b>Sí</b> (informe normal – lista todos los cambios habidos en el estado de las líneas durante la simulación)</li> <li>• <b>Todo</b> (informe completo – contiene lo mismo que el informe normal, más los errores de convergencia para cada iteración realizada, dentro de cada instante de la simulación)</li> </ul>

---

El informe completo se utiliza únicamente para depuración.

**Nota:** Las distintas Opciones Hidráulicas pueden también establecerse desde la opción de menú **Proyecto >> Valores por defecto**, y guardarse para ser utilizadas en futuros proyectos (ver Apartado 5.2).



## Opciones relativas a la Calidad del Agua

Las opciones que hacen referencia a la *Calidad del Agua* controlan el modo en que el contaminante es transportado a través de la red. Estas son las siguientes:

Opción	Descripción
Tipo Modelo Calidad	<p>Tipo de Modelo de Calidad a ejecutar. Las opciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ninguno</b> (no se realiza ningún análisis de calidad)</li><li>• <b>Sust. Química</b> (calcula la concentración de una sustancia química, reactiva o no)</li><li>• <b>Proced.</b> (realiza un seguimiento del porcentaje de agua procedente de un nudo dado, que llega a cada punto de la red)</li><li>• <b>Tiempo Perm</b> (calcula el tiempo de permanencia del agua en la red)</li></ul> <p>En lugar de la opción <i>Sust. Química</i>, se puede introducir el nombre real de la sustancia a observar (p. ej. Cloro).</p>
Unidades de Masa	<p>Unidades de masa empleadas para expresar la concentración de un contaminante. Las opciones son mg/l o µg/l. Las unidades empleadas para el cálculo de los Tiempos de Permanencia son horas y para el cálculo de Procedencias porcentajes, estando ambas fijadas.</p>
Coef. Difusión Relativo	<p>Valor del coef. de difusión molecular de la sustancia en estudio, referida al coef. de difusión del cloro a 20°C (0,00112 pies<sup>2</sup> /día). Un valor 2 indica que la sustancia se difunde dos veces más rápido que el cloro, un valor 0,5 que se difunde a velocidad mitad, etc. Sólo se aplica al modelizar la transferencia de masa en las reacciones con las paredes de las tuberías. Poner 0 para ignorar los fenómenos de transferencia de masa.</p>
Nudo de Procedencia	<p>Identificativo ID del nudo del cual procede el flujo a seguir. Se aplica solamente en el análisis de procedencias.</p>
Tolerancia Parámetro Calidad	<p>El cambio más pequeño del parámetro de calidad analizado, que provocará la creación de un nuevo segmento en la tubería. Un valor típico es 0,01 para contaminantes cuya concentración se mide en mg/l, así como para el cálculo de tiempos de permanencia y procedencias.</p>

**Nota:** La Tolerancia del Parámetro de Calidad determina cuándo la calidad de un segmento de tubería puede considerarse prácticamente igual a la de otro contiguo. En el estudio de la concentración de un contaminante, puede tomarse como el límite de sensibilidad del procedimiento utilizado para medir dicha concentración, corregido por un factor de seguridad conveniente. Si el valor se toma demasiado alto puede afectar al grado de precisión de los resultados, y si se toma demasiado bajo puede afectar al tiempo de cálculo. Se aconseja experimentar antes con diversos valores de este parámetro.

## Opciones relativas a las Reacciones

Las Opciones relativas a las *Reacciones* establecen los modelos de reacción aplicables para analizar la evolución de la calidad del agua. Estas opciones son las siguientes:

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Orden Reacción en el Medio	Potencia a la cual hay que elevar la concentración para determinar la velocidad de reacción en el medio. Un valor 1 corresponde a una reacción de primer orden, un 2 a una reacción de segundo orden, etc. Utilizar cualquier valor negativo para una cinética de Michaelis-Menton. Si no se especifica un coeficiente de reacción en el medio global o a nivel de tubería, esta opción será ignorada.
Orden Reacción en la Pared	Potencia a la cual hay que elevar la concentración para determinar la velocidad de reacción en la pared. Las opciones son <b>Uno</b> (1) para reacciones de primer orden, o <b>Cero</b> (0) para velocidades de reacción constante. Si no se especifica un coeficiente de reacción en la pared global o a nivel de tubería, esta opción será ignorada.
Coef. Global Reacc. Medio	Coefficiente de velocidad de reacción en el medio ( $K_b$ ) asignado por defecto a todas las tuberías. Este valor puede cambiarse para algunas tuberías, editándolo para ellas específicamente. Un valor positivo implica el crecimiento de la concentración, y un valor negativo su decrecimiento. Un valor 0 implica que no hay reacción. Las unidades serán las empleadas para expresar la concentración, elevadas a la potencia (1-n), y divididas por días, donde n expresa el orden de la reacción en el medio.
Coef. Global Reacc. Pared	Coefficiente de velocidad de reacción en la pared ( $K_w$ ) asignado por defecto a todas las tuberías. Este valor puede cambiarse para algunas tuberías, editándolo para ellas específicamente. Un valor positivo implica el crecimiento de la concentración, y un valor negativo su decrecimiento. Un valor 0 implica que no hay reacción. Las unidades serán pies/día (US) o m/día (SI) para reacciones de primer orden y masa/pies <sup>2</sup> /día (US) o masa/m <sup>2</sup> /día (SI) para reacciones de orden cero.
Concentración Límite	Concentración máxima que puede alcanzar una sustancia cuyo contenido crece con el tiempo, o concentración mínima si ésta decrece. Las velocidades de reacción en el medio serán proporcionales a la diferencia entre la concentración actual y el valor límite. Para más detalle ver el epígrafe Reacciones en el Medio del Apartado 3.4. Introducir un 0 si no se aplica.
Coef. Correlación Pared	Factor que correlaciona el coeficiente de reacción en la pared con la rugosidad de la tubería. Para más detalles consultar el epígrafe Reacciones en la Pared del Apartado 3.4. Introducir un 0 si no se aplica.





## Opciones de Tiempo

Las Opciones de *Tiempo* fijan los valores correspondientes a los diferentes intervalos de tiempo utilizados durante la simulación en período extendido (los tiempos pueden introducirse en horas decimales o en el formato horas:minutos). Estas opciones son:

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Duración Total	Duración total de la simulación, en horas. Un valor 0 significa un cálculo en régimen permanente (o para un instante dado)
Intervalo Cálculo Hidráulico	Intervalo de tiempo entre dos cálculos sucesivos del estado de equilibrio de la red. El valor por defecto es 1 hora
Intervalo Cálculo Calidad	Intervalo de tiempo utilizado para hacer avanzar la sustancia transportada en un modelo de calidad. El valor por defecto es 5 minutos (0:05 horas)
Intervalo Curvas Modulación	Intervalo de tiempo utilizado para caracterizar todas las curvas de modulación. El valor por defecto es 1 hora.
Hora Inicio Curvas Modulación	Hora común para todas las curvas de modulación, a partir de la cual se inicia la simulación (p. ej. un valor 2 significaría que la simulación arranca con el coeficiente de las curvas de modulación correspondiente a la hora 2)
Intervalo Resultados	Intervalo de tiempo entre los instantes de cálculo a mostrar en los resultados (desde el Visor). El valor por defecto es 1 hora
Hora Inicio Resultados	Hora de la simulación a partir de la cual se comenzarán a mostrar los resultados (en el Visor). El valor por defecto es 0.
Hora Real Inicio Simulación	Hora real (p. ej. 7:30 am, 10:00 pm) a la cual comienza la simulación. El valor por defecto es 12:00 am (medianoche).
Estadísticas	<p>Procedimiento estadístico empleado para sintetizar los resultados de una simulación en periodo extendido. Las opciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Ninguna</b> (se muestran los resultados correspondientes a cada instante)</li><li>• <b>Medias</b> (se muestran los valores medios de los resultados)</li><li>• <b>Mínimos</b> (se muestra el valor mínimo de los resultados)</li><li>• <b>Máximos</b> (se muestra el valor máximo de los resultados)</li><li>• <b>Rangos</b> (se muestra la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de los resultados)</li></ul> <p>Las funciones estadísticas se aplican sobre los resultados de los todos los nudos y líneas, entre la Hora de Inicio de los Resultados y la hora final de la simulación.</p>

**Nota:** Para realizar un análisis en régimen permanente (o para un instante dado) poner como valor de la Duración Total 0 horas. En este caso, las demás Opciones de Tiempo serán ignoradas, a excepción de la Hora Real de Inicio de la Simulación. Los análisis de calidad del agua requieren siempre que el tiempo de simulación sea distinto de 0.


## Opciones Energéticas


Las Opciones relativas a los *Cálculos Energéticos* proporcionan los valores por defecto a utilizar para el cálculo de la energía de bombeo y su coste, cuando no se asignan parámetros específicos a una bomba dada. Estas son las siguientes:

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Rendimiento Bombas (%)	Rendimiento de la bomba por defecto.
Precio Energía (por kWh)	Precio de la energía por kWh. Las unidades monetarias no se indican explícitamente.
Curva Modulación Precios	Identificativo ID de la curva de modulación utilizada para representar las variaciones del precio de la energía con el tiempo. Dejar en blanco si no se aplica.
Recargo por Potencia Máxima	Recargo de potencia por Kw utilizado, en función de la potencia máxima demandada <sup>12</sup> .

## 8.2 Ejecución de la Simulación

Para llevar a cabo un análisis hidráulico, y en su caso, también de la calidad del agua, hay que proceder del siguiente modo:

1. Seleccionar **Proyecto >> Calcular** o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar.
2. Mientras se realizan los cálculos se verá cómo éstos progresan en una ventana de *Estado de la Simulación*.
3. Pulsar **Aceptar** cuando se terminen los cálculos.

Si el cálculo termina con éxito, aparecerá el icono  en la sección *Estado de la Simulación* de la Barra de Estado, situada al pie del área de trabajo de EPANET. Cualquier error o mensaje de advertencia se mostrará en una ventana emergente conteniendo el *Informe de Estado* de la Red. Si se editan las propiedades de la red después de una simulación con éxito, el grifo del icono aparecerá partido para indicar que, en adelante, los resultados actuales probablemente ya no se correspondan con los datos de la red.

## 8.3 Verificación de los Resultados

EPANET emite mensajes de Error y de Advertencia cuando surgen problemas durante la simulación de un modelo hidráulico o de calidad (ver el Apéndice B para obtener una lista completa). A continuación se pasa revista a los errores más frecuentes.

<sup>12</sup> En España el término de potencia se aplica sobre la potencia contratada, esto es, sobre un valor fijo, salvo que se instalen máxímetros. En tal caso, el cálculo del término de potencia resulta algo más complejo que aplicar una simple proporcionalidad sobre la potencia máxima, como hace EPANET.



## Las Bombas no pueden suministrar el Caudal o la Altura

EPANET emitirá un mensaje cuando a una bomba se le pide trabajar fuera del rango definido por su curva característica. Si a la bomba se le pide una altura superior a su altura a válvula cerrada, EPANET parará la bomba. Como consecuencia de ello, algunos sectores de la red pueden quedar desconectados, esto es, aislados de cualquier fuente de suministro.

## La Red está Desconectada

EPANET diagnostica que una red está desconectada si existe algún nudo con demanda, al cual no es posible suministrarle agua. Esto ocurrirá cuando no se encuentra ningún trayecto libre entre dicho nudo y un embalse, depósito o nudo con caudal negativo. Si el problema es causado por el cierre de alguna línea, EPANET realizará no obstante los cálculos pertinentes (obteniendo probablemente presiones negativas muy altas en los nudos aislados) e intentará identificar la línea causante del problema, la cual será reportada en el Informe de Estado. Si el problema es que no hay líneas para realizar la conexión, entonces EPANET no podrá resolver las ecuaciones de equilibrio para determinar los caudales y presiones, y devolverá el mensaje de error 110 al realizar la simulación. Durante una simulación en periodo extendido es posible que algún nudo quede desconectado como consecuencia del cambio de estado de algún elemento.

## Existencia de Presiones Negativas

EPANET emitirá un mensaje de advertencia cuando aparezcan presiones negativas en algún nudo con demanda positiva. Ello es un indicativo de que existe algún problema en el diseño de la red o en su modo de operación. Las presiones negativas suelen presentarse cuando la alimentación de algún sector de la red queda estrangulada por el cierre de una línea. En tal caso se emitirá un mensaje adicional indicando el sector que se queda aislado.

## Sistema No Equilibrado

La condición de Sistema No Equilibrado ocurre cuando EPANET no puede conseguir la convergencia a la solución, dentro del número máximo de iteraciones permitido, para algún instante de la simulación. Ello puede deberse al continuo cambio de estado de elementos como bombas, válvulas o tuberías (con válvula de retención), durante el transcurso de las iteraciones. Por ejemplo, los límites de presión que controlan el estado de una bomba pueden estar demasiado próximos, o la curva de una bomba puede ser demasiado plana, provocando continuos arranques y paros.

Para eliminar la condición de sistema no equilibrado se puede intentar incrementar el número de iteraciones permitido, o bien relajar la precisión exigida para la convergencia. Ambos parámetros figuran entre las Opciones Hidráulicas. Si la condición de no equilibrio persiste, entonces otra de las opciones hidráulicas, denominada Caso de No Equilibrio, ofrece dos formas de proceder. Una es terminar el análisis al encontrarse esta condición, y la otra es realizar

todavía 10 iteraciones más, pero manteniendo inmutable el estado de todas las líneas en su estado actual. Si con ello se consigue la convergencia, se emitirá un mensaje de advertencia informando sobre la posibilidad de que el sistema sea inestable. Si aun así no se consigue la convergencia, entonces se emitirá el mensaje de “Sistema no equilibrado”. En cualquier caso el análisis continuará con el periodo siguiente.

Si el análisis para un periodo determinado finaliza con el sistema de ecuaciones no equilibrado, el usuario debe ser consciente de que los resultados del mismo no son fiables. Dependiendo de las circunstancias que concurran, por ejemplo si los errores afectan a los caudales que entran o salen de los depósitos, la fiabilidad de los resultados puede afectar también a todos los periodos subsiguientes.

### Sistema de Ecuaciones Hidráulicas No Resoluble

Si en algún momento de la simulación, el sistema de ecuaciones que equilibra caudales y energías para toda la red no puede resolverse, se emitirá el Error 110. Esto ocurre cuando algún sector de la red presenta una demanda, y no existen líneas físicas que lo conecten con ninguna fuente de suministro. En tal caso, EPANET emitirá además mensajes de advertencia para los nudos que queden desconectados. El sistema de ecuaciones puede resultar también irresoluble si se introducen como propiedades de algunos elementos valores poco realistas.

## CAPITULO 9 - PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

---

*En este capítulo se describen los distintos modos en que pueden visualizarse los resultados de un análisis, así como los datos básicos que configuran la red. Entre los sistemas de visualización ofrecidos para la presentación de resultados se encuentran los mapas, los gráficos de evolución, las tablas numéricas y los informes especiales.*

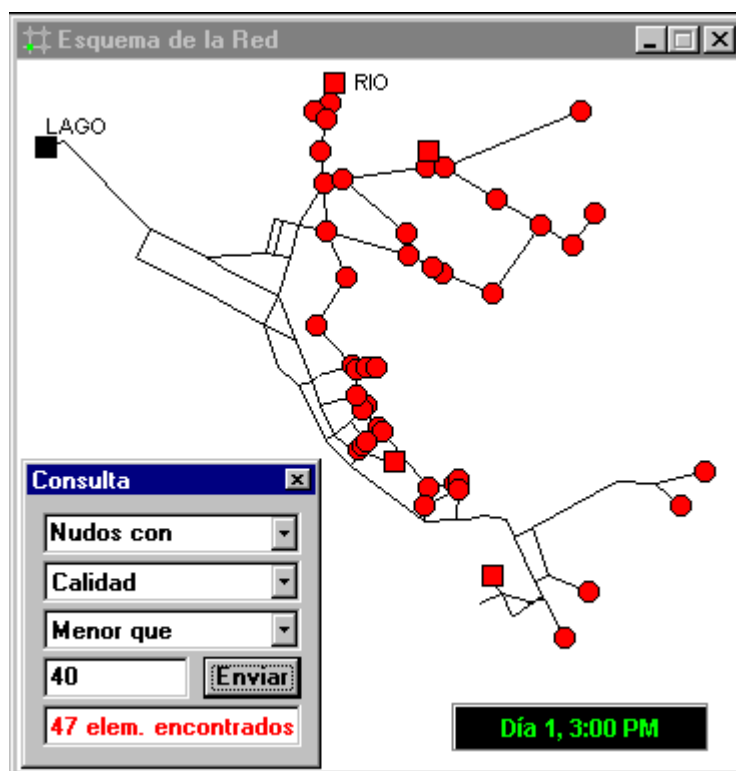
### 9.1 Presentación de los Resultados sobre el Esquema

Existen diversos modos de ver directamente, sobre el Esquema de la Red, tanto los valores de la base de datos como los resultados de una simulación:


- Los nudos y líneas del esquema pueden colorearse conforme al código de colores establecido en las *Leyendas* (ver Apartado 7.7) para las magnitudes actualmente seleccionadas en el Visor del Esquema (ver Apartado 4.7). Los colores del esquema se actualizarán al cambiar el instante de tiempo seleccionado en el Visor.
- Si la opción de ver *Etiquetas Flotantes* está seleccionada en las Preferencias Generales del programa (ver Apartado 4.9), al mover el ratón sobre cualquier nudo o línea se mostrará su identificativo ID, junto al valor de la magnitud actualmente asociada al nudo o línea, dentro de una caja de texto suavizada
- Los identificativos ID y los valores de la magnitud actual asociada a nudos y líneas, pueden observarse sobre el esquema eligiendo las opciones adecuadas en la página de *Etiquetas* del diálogo de Opciones del Esquema (ver Apartado 7.9).
- Pueden identificarse los Nudos o Líneas que cumplen una determinada condición, efectuando una *Consulta* sobre el Esquema (ver seguidamente).
- Se puede animar la presentación de resultados sobre el esquema de la red, avanzando o retrocediendo en el tiempo, mediante los botones de *Animación* del Visor del Esquema. La animación está disponible solamente cuando el parámetro asociado a los nudos o líneas es un parámetro calculado (p. ej. los caudales pueden animarse, pero no los diámetros).
- El esquema de la red puede ser impreso, copiado al portapapeles de Windows, o almacenado como un fichero DXF o como un fichero metafile de Windows.

#### Realización de Consultas sobre el Esquema

Una Consulta sobre el Esquema permite identificar a los nudos y líneas de la red que cumplen unas condiciones determinadas (p.ej. nudos con una presión inferior a 20 psi (libras/pulg<sup>2</sup>), líneas con una velocidad superior a 2 pies/seg, etc). Como ejemplo, ver la Figura 9.1. Para formular una consulta sobre el esquema:



**Figura 9.1** Resultados de una Consulta sobre el Esquema

1. Seleccionar desde el Visor del Esquema el instante para el cual se desea hacer la consulta.
2. Seleccionar la opción **Ver >> Consultar** o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas del Esquema.
3. Rellenar la siguiente información sobre el diálogo de *Consultas* mostrado:
  - Elegir entre localizar Nodos o Líneas
  - Elegir el parámetro a comparar
  - Elegir la relación de comparación: **Menor que, Igual a, o Mayor que**
  - Introducir el valor con el cual se desea comparar
4. Pulsar el botón **Enviar**. Los objetos que cumplan las especificaciones impuestas quedarán resaltados en el esquema.
5. Al seleccionar un nuevo instante en el Visor, el resultado de la consulta será actualizado automáticamente.
6. Se puede ahora emitir otra consulta utilizando el mismo diálogo, o bien cerrarlo pulsando sobre el botón de la esquina superior derecha.

Cuando se cierra el diálogo de Consultas, el esquema de la red vuelve a su configuración original.




## 9.2 Presentación de los Resultados mediante Gráficas

Los resultados del análisis, así como ciertos parámetros de diseño, pueden visualizarse utilizando diferentes tipos de gráficas. Las gráficas pueden ser impresas, copiadas al portapapeles de Windows, y guardadas como fichero de datos o como fichero metafile de Windows. Para observar los valores de un parámetro determinado se dispone de los siguientes tipos de gráficas (ver ejemplos de cada una en la Figura 9.2):

<i>Tipo de Gráfica</i>	<i>Descripción</i>	<i>Aplicable a</i>
Curva de Evolución	Representa la evolución de una magnitud con el tiempo	Nudos o líneas específicos, para todo el periodo de simulación
Perfil Longitudinal	Representa la variación de una magnitud con la distancia	Una lista de nudos, para un instante dado
Mapa de Isolíneas	Muestra las regiones del espacio en las cuales el valor de la magnitud queda dentro de ciertos intervalos	Todos los nudos, para un instante dado
Curva de Distribución	Representa la fracción de elementos de la red cuya magnitud asociada es igual o inferior a un valor, frente a dicho valor	Todos los nudos o líneas, para un instante dado
Balance de Caudales	Representa la variación de la producción total y del consumo total del sistema frente al tiempo	La demanda de agua para todos los nudos, a lo largo de todo el periodo de simulación

**Nota:** Cuando se representa un solo nudo o línea en un gráfico de Curvas de Evolución, sobre la curva correspondiente se mostrará también cualquier dato medido que figure en un Fichero de Calibración, siempre que éste se haya registrado previamente en el proyecto (ver Apartado 5.3).

Para crear una gráfica:

1. Seleccionar **Informes >> Gráficos** o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar.
2. Rellenar las opciones que corresponda en el diálogo de *Selección de la Gráfica* mostrado.

El diálogo de Selección de la Gráfica, que puede verse la Figura 9.3, se utiliza para seleccionar el tipo de gráfica y su contenido. Las opciones que ofrece dicho diálogo son las siguientes:

<i>Campo</i>	<i>Descripción</i>
Tipo de Gráfica	Selecciona el tipo de gráfica
Magnitud	Selecciona la magnitud a representar
Instante	Selecciona el instante de tiempo (no se aplica para Curvas de Evolución)
Tipo de Objetos	Selecciona entre Nudos o Líneas (en los Perfiles Longitudinales y Mapas de Isolíneas solo pueden representarse la magnitudes asociadas a Nudos)
Elementos a Representar	Selecciona los elementos a representar (aplicable solo para Curvas de Evolución y Perfiles Longitudinales)

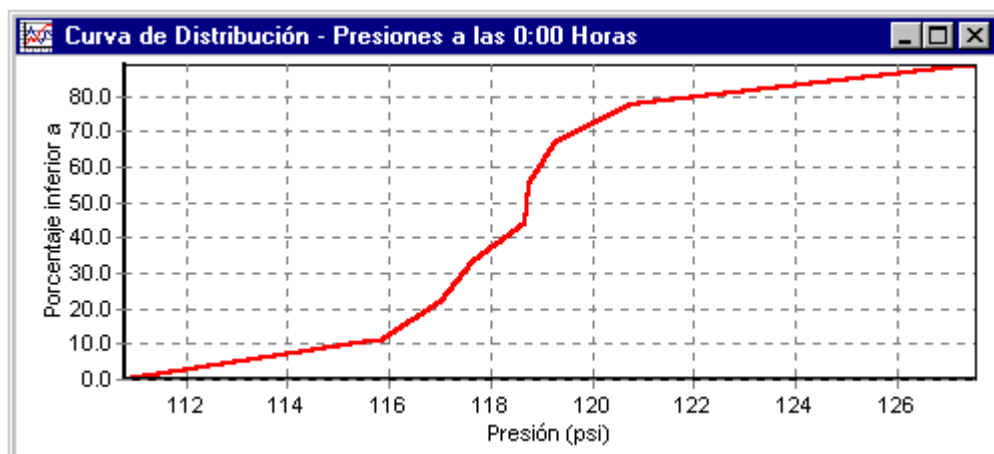
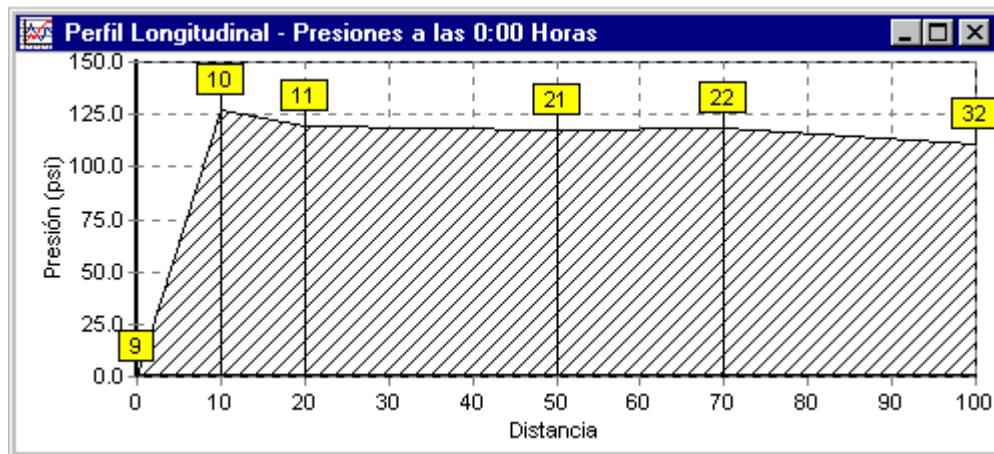
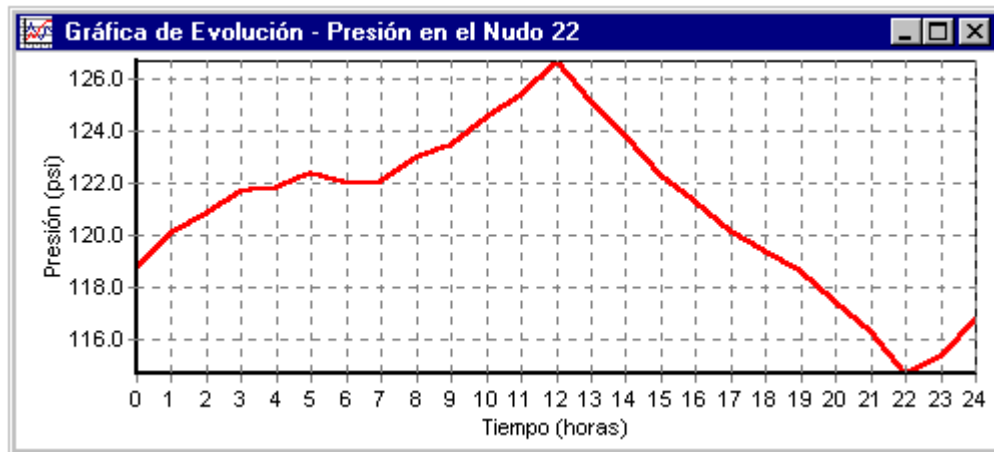


Figura 9.2 Ejemplos de Diferentes Tipos de Gráficas



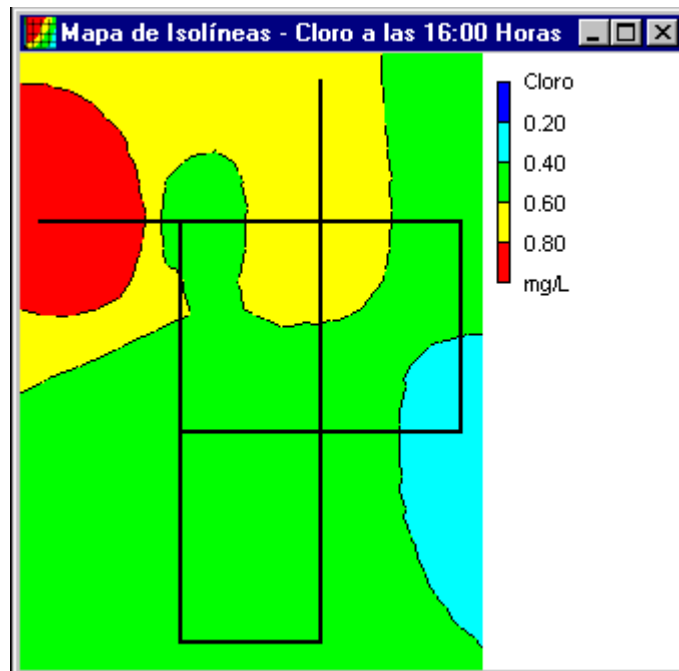
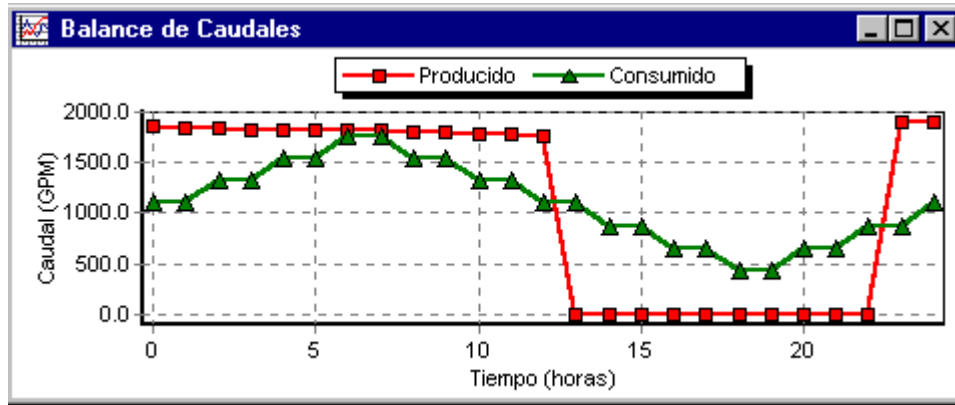


Figura 9.2 Continuación de la Figura Anterior



**Figura 9.3** Diálogo de Selección de la Gráfica

Las Curvas de Evolución y los Perfiles Longitudinales requieren la selección de uno o más objetos. Para seleccionar los elementos a representar en la gráfica desde el diálogo de Selección de la Gráfica:

1. Seleccionar el objeto (nudo o línea) sobre el Esquema de la Red, o bien desde el Visor de Datos (el diálogo permanecerá visible durante el proceso de selección).
2. Pulsar el botón **Añadir** en el diálogo de Selección de la Gráfica, para añadir el objeto a la lista actual.


En lugar del paso 2, se puede también arrastrar el objeto desde el Visor de Datos hasta la barra de título del diálogo o bien hasta el recuadro que contiene la lista.

Los restantes botones del diálogo de **Selección de la Gráfica** tienen la siguiente misión:

<i>Botón</i>	<i>Acción</i>
Cargar (Sólo para Perf. Long.)	Carga una lista de nudos previamente almacenados
Guardar (Sólo para Perf. Long.)	Guarda la lista de nudos actual en un fichero
Borrar	Borra los elementos seleccionados de la lista
Subir	Desplaza el elemento seleccionado una posición hacia arriba
Bajar	Desplaza el elemento seleccionado una posición hacia abajo



Para personalizar el aspecto de una gráfica:

1. Convertir la gráfica en la ventana activa (pulsar sobre su barra de título).
2. Seleccionar **Informes >> Opciones** en la Barra de Menús, o bien pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar, o bien pulsar sobre la gráfica con el botón derecho del ratón.
3. Para personalizar el aspecto de las Curvas de Evolución, Perfiles Longitudinales, Curvas de Distribución o Balance de Caudales, utilizar el diálogo de *Opciones de la Gráfica* (Figura 9.4).
4. Para personalizar los Mapas de Isolíneas, utilizar el diálogo propio de *Opciones del Mapa de Isolíneas*.

**Nota:** Las Curvas de Evolución, los Perfiles Longitudinales, las Curvas de Distribución y las de Balance de Caudales pueden ampliarse manteniendo pulsada la tecla **Ctrl**, al tiempo que con el botón izquierdo del ratón pulsado se delimita mediante un rectángulo la zona a acercar o alejar. Si el rectángulo se dibuja de derecha a izquierda, la región delimitada por éste se ampliará, y si se dibuja de izquierda a derecha se alejará. También puede desplazarse el gráfico en cualquier dirección manteniendo pulsada la tecla **Ctrl** y arrastrando la gráfica con el ratón y el botón derecho pulsado.

El diálogo de *Opciones de la Gráfica* (Figura 9.4) se aplica para personalizar el aspecto de los gráficos X-Y. Para utilizar este diálogo:

1. Seleccionar una de las cinco pestañas del diálogo, las cuales aglutinan los siguientes grupos de opciones:
  - Generales
  - Eje Horizontal
  - Eje Vertical
  - Leyenda
  - Series de Datos
2. Validar la casilla **Por defecto** si se desea utilizar las opciones actuales como opciones por defecto para futuros gráficos
3. Seleccionar **Aceptar** para validar las opciones elegidas.

Las opciones contenidas en cada una de las páginas del diálogo de Opciones de la Gráfica son las siguientes:

#### Página General

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Color del Marco	Color del marco que rodea el área de dibujo de la gráfica
Color del Fondo	Color de fondo del área de dibujo de la gráfica
Vista en 3D	Hace que la gráfica se dibuje con relieve en 3 dimensiones
Porcentaje Efecto 3D	Grado de relieve aplicable a las curvas dibujadas en 3D
Título Principal	Texto del título principal de la gráfica
Fuente	Tipo de fuente, tamaño y color aplicable al título principal



**Figura 9.4** Diálogo de Opciones de la Gráfica

#### Páginas de los ejes Horizontal y Vertical

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Mínimo	Fija el valor mínimo del eje (el valor mínimo de la magnitud se indica entre paréntesis). Puede dejarse en blanco.
Máximo	Fija el valor máximo del eje (el valor máximo de la magnitud se indica entre paréntesis). Puede dejarse en blanco.
Incremento	Fija el incremento entre marcas del eje. Puede dejarse en blanco.
Auto Escalado	Si está seleccionado, se ignorarán los valores introducidos como Mínimo, Máximo e Incremento.
Rejilla	Selecciona el estilo de rejilla a dibujar.
Título del Eje	Texto del título del eje.
Fuente	Determina la fuente aplicable al título del eje.



### Página de la Leyenda

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Posición	Determina la posición que ocupará la leyenda
Color	Selecciona el color a utilizar como fondo de la leyenda.
Ancho del Símbolo	Selecciona el ancho (en píxeles) que ocupará el símbolo en la leyenda.
Marco	Rodea la leyenda con un marco o no.
Visible	Hace que la leyenda sea visible o no.

### Página de las Series de Datos

La página dedicada a las *Series de Datos* en el diálogo de Opciones de la Gráfica (ver Figura 9.4), controla el modo en que se representarán los datos individuales (o las curvas) en la gráfica. Para utilizar esta página:

- Seleccionar de la lista desplegable la Serie de Datos a editar.
- Editar el Título con el que se identificará dicha serie en la Leyenda.
- Pulsar el botón Fuente para cambiar la fuente utilizada en la leyenda (común para todas las series) (Otras propiedades de la leyenda se seleccionan desde la página correspondiente en el mismo diálogo)
- Seleccionar la propiedad de la serie de datos a modificar. Las opciones son:
  - Líneas
  - Marcas
  - Rellenos
  - Rótulos

(Para algunos tipos de gráficos no están disponibles todas las opciones)

Las propiedades que pueden modificarse en cada una de las opciones anteriores son las siguientes:

<i>Categoría</i>	<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
<i>Líneas</i>	Estilo	Selecciona el estilo de la línea.
	Color	Selecciona el color de la línea.
	Tamaño	Selecciona el grosor de la línea (sólo para líneas continuas).
	Visible	Determina si la línea será visible o no.
<i>Marcas</i>	Estilo	Selecciona el estilo de las marcas de puntos.
	Color	Selecciona el color de las marcas de puntos.
	Tamaño	Selecciona el tamaño de las marcas de puntos.
	Visible	Determina si las marcas de puntos serán visibles o no.
<i>Rellenos</i>	Estilo	Selecciona el tipo de patrón de relleno (en 3D)
	Color	Selecciona el color del patrón de relleno (en 3D)
	Apilado	No utilizado en EPANET.
<i>Rótulos</i>	Estilo	Selecciona el tipo de información a mostrar en el rótulo.
	Color	Selecciona el color de fondo del rótulo.
	Transparente	Determina si la gráfica será visible o no detrás del rótulo.
	Ver Conexiones	Determina si se visualizan o no las conexiones de los rótulos con los sectores, en los diagramas de sectores.
	Visible	Determina si los rótulos serán visibles o no.

El diálogo de *Opciones del Mapa de Isolíneas* (Figura 9.5) se utiliza para personalizar el aspecto de los mapas de isolíneas. A continuación se describen las distintas opciones del mismo:



**Figura 9.5** Diálogo de Opciones del Mapa de Isolíneas

<i>Categoría</i>	<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
<i>Leyenda</i>	Mostrar la Leyenda	Activa/desactiva la visualización de la leyenda
	Modificar la Leyenda	Fija los códigos de colores e intervalos para las isolíneas
<i>Esquema de la Red</i>	Líneas	Color de las líneas que representan el esquema de la red
	Fondo	Color de fondo para todo el mapa de isolíneas
	Grosor Líneas	Grosor de las líneas que representan el esquema de al red
<i>Estilo</i>	Franjas Rellenas	Las franjas entre isolíneas se rellenan con un color opaco
	Curvas Isolíneas	Se dibujan solo las curvas de las isolíneas
<i>Isolíneas</i>	Grosor	Fija el grosor de las isolíneas principales
	Líneas por Nivel	Número de isolíneas a interpolar entre dos isolíneas principales
<i>Por Defecto</i>		Guarda las opciones actuales para futuros mapas de isolíneas


### 9.3 Presentación de los Resultados mediante Tablas

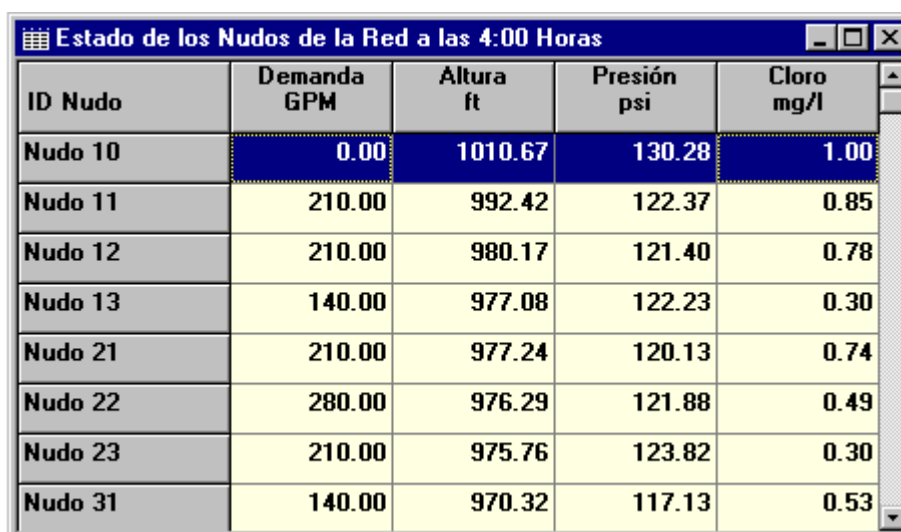
EPANET permite también ver ciertos datos del proyecto y los resultados del análisis en forma tabular, mediante una de las siguientes tablas:

- Una Tabla de Elementos de la Red lista las propiedades y resultados de todos los nudos o líneas de la red, para un instante determinado.
- Una Tabla de Evolución lista las propiedades y resultados de un nudo o línea determinado, para todos los instantes de tiempo.

Las tablas pueden ser impresas, copiadas al portapapeles de Windows, o guardadas en un fichero. La figura 9.6 muestra un ejemplo de una Tabla de Nudos de la Red.

Para crear una Tabla:

1. Seleccionar la opción **Informes >> Tablas** de la Barra de Menús o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar.
2. Utilizar el diálogo de *Selección de la Tabla* mostrado para elegir:
  - el tipo de tabla
  - las magnitudes a mostrar en cada columna
  - el filtro a aplicar para seleccionar los datos visibles en la tabla

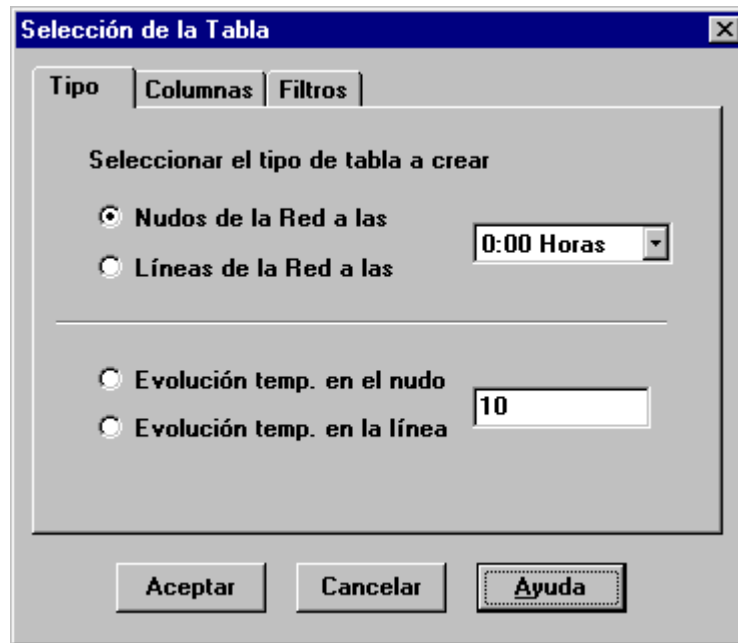


ID Nudo	Demanda GPM	Altura ft	Presión psi	Cloro mg/l
Nudo 10	0.00	1010.67	130.28	1.00
Nudo 11	210.00	992.42	122.37	0.85
Nudo 12	210.00	980.17	121.40	0.78
Nudo 13	140.00	977.08	122.23	0.30
Nudo 21	210.00	977.24	120.13	0.74
Nudo 22	280.00	976.29	121.88	0.49
Nudo 23	210.00	975.76	123.82	0.30
Nudo 31	140.00	970.32	117.13	0.53

**Figura 9.6** Ejemplo de una Tabla de Nudos de la Red

El diálogo de Selección de la Tabla tiene tres pestañas, como puede observarse en la Figura 9.7. Cuando se crea una tabla, las páginas correspondientes a las tres pestañas están accesibles. Sin embargo, una vez la tabla creada, en el diálogo de *Opciones de la Tabla* sólo aparecerán las pestañas correspondiente a Columnas y Filtros. Las opciones disponibles en cada página son las siguientes:





**Figura 9.7** Diálogo de Selección de la Tabla

#### Página de Tipo de Tabla

La página *Tipo de Tabla* del diálogo de Selección de la Tabla se utiliza para seleccionar el tipo de tabla a crear. Las opciones son:

- Todos los nudos de la red, para un instante dado
- Todas las líneas de la red, para un instante dado
- Todos los instantes, para un nudo determinado
- Todos los instantes, para una línea determinada

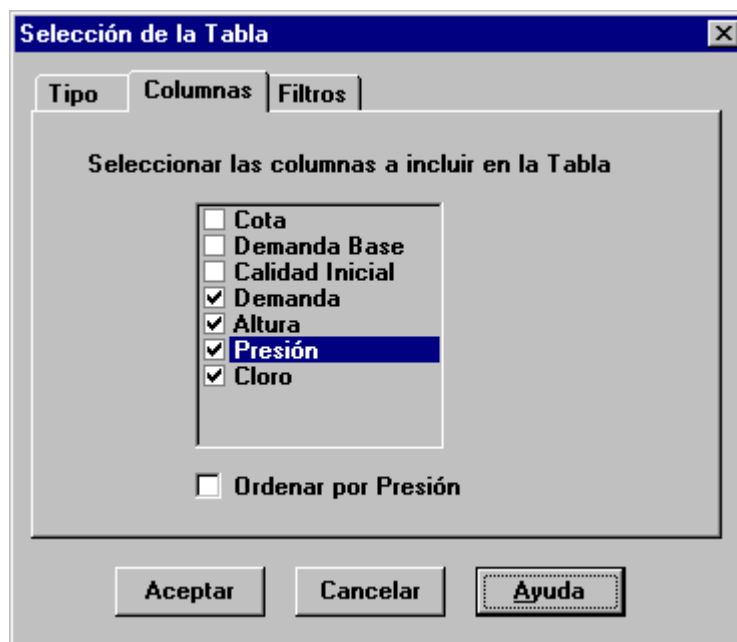
En los recuadros correspondientes deberá elegirse el instante deseado, o bien el nudo/línea deseado.

#### Página de Columnas

La página de *Columnas* de los diálogos de Selección/Opciones de la Tabla (Figura 9.8) permite seleccionar los parámetros a mostrar en las columnas de la tabla. Para ello:

- Validar la casilla junto al nombre de cada parámetro a incluir en la tabla, o bien invalidarla para excluirlo. (Se pueden utilizar las teclas Flecha Arriba y Flecha Abajo para avanzar o retroceder sobre la lista de parámetros, y la barra espaciadora para seleccionar/deseleccionar el parámetro).

- Para ordenar una Tabla de Elementos de la Red con respecto a los valores de un parámetro determinado, seleccionar el parámetro de la lista y validar la casilla **Ordenar por** situada en la parte inferior del diálogo. (El parámetro de ordenación debe ser alguno de los seleccionados en la tabla). Las Tablas de Evolución no pueden ser ordenadas.



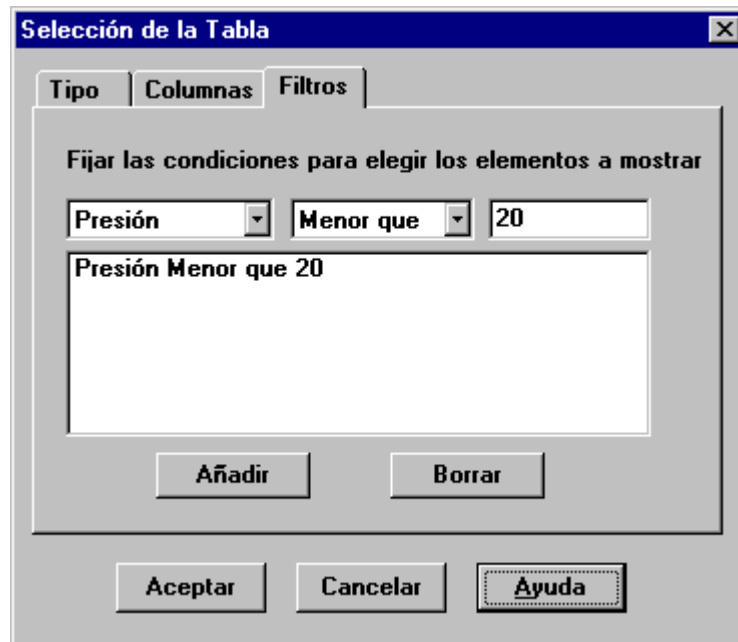
**Figura 9.8** Página de Columnas del diálogo de Selección/Opciones de la Tabla

#### Página de Filtros

La página de *Filtros* de los diálogos de Selección/Opciones de la Tabla (Figura 9.9) se utiliza para determinar las condiciones a cumplir por los elementos que aparecerán en la tabla. Para filtrar el contenido de una tabla:


- Utilizar las casillas situadas en la parte superior de la página para crear una condición (p.ej. Presión Menor que 20).
- Pulsar el botón **Añadir** para añadir una condición a la lista.
- Utilizar el botón **Borrar** para quitar la condición seleccionada de la lista.

Cuando se especifican varias condiciones, se entiende que se concatenan con la condición Y. Si una tabla tiene declarado un filtro, al pie de la tabla se mostrará un recuadro ajustable en el que se indica el número de elementos encontrados que cumplen todas las condiciones especificadas.



**Figura 9.9** Página de Filtros de diálogo de Selección/Opciones de la Tabla

Una vez se ha creado una tabla, se pueden añadir o borrar columnas, reordenarlas, o bien modificar las condiciones imuestas en el filtro. Para ello:

- Seleccionar **Informes >> Opciones** de la Barra de Menús, pulsar el botón  de la barra de Herramientas Estándar, o bien pulsar el botón derecho del ratón sobre la tabla.
- Utilizar las páginas de Columnas y Filtros del diálogo de Opciones de la Tabla para modificar la tabla.

## 9.4 Informes Especiales

Además de gráficas y tablas, EPANET puede generar también algunos *Informes Especiales*. Estos son:

- Informe de Estado
- Informe de Energías
- Informe de Calibración
- Informe de Reacciones
- Informe Completo

Todos estos informes pueden ser impresos, copiados a un fichero, o copiados al portapapeles de Windows (el Informe Completo sólo puede almacenarse en un fichero)

## Informe de Estado

EPANET escribe todos los errores y mensajes de advertencia generados durante la ejecución de una simulación, en un *Informe de Estado* (ver Figura 9.10). Si la opción Informe de Estado del grupo de Opciones Hidráulicas del proyecto está configurada como Sí o Todo, todos los cambios de estado habidos en los elementos del sistema serán reportados igualmente en este Informe, como información adicional. Para ver el Informe de Estado de la simulación más reciente, seleccionar **Informes >> Estado** desde la Barra de Menús.

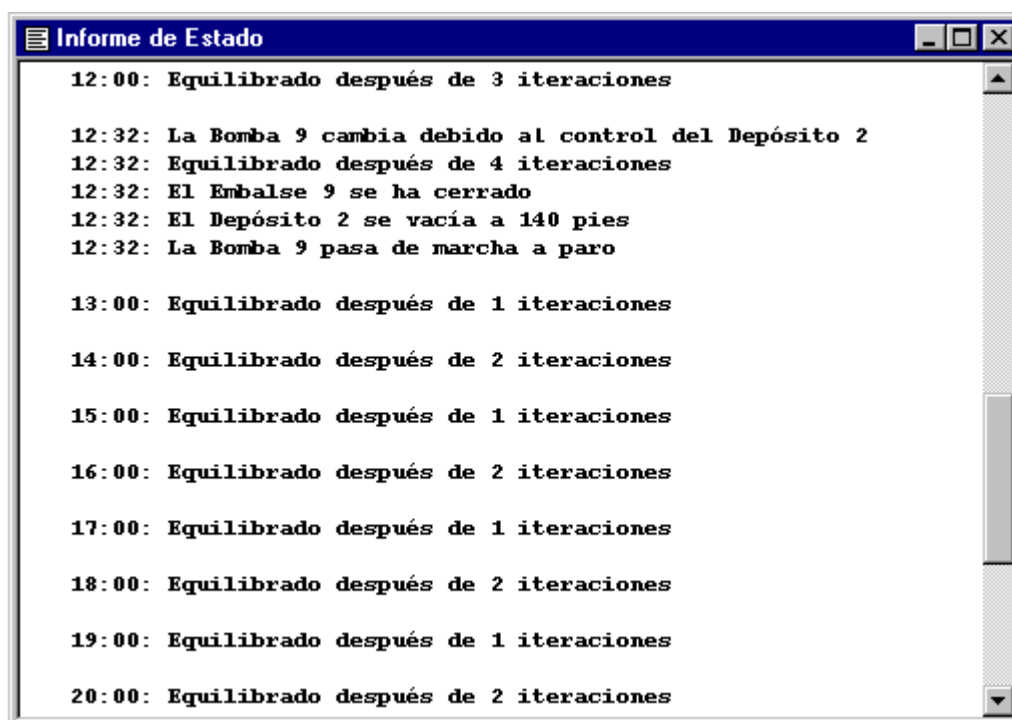


Figura 9.10 Extracto de un Informe de Estado

## Informe de Energías

EPANET puede generar un *Informe de Energías* en el cual se ofrece una estadística de la energía consumida por cada bomba, y el coste asociado con dicho consumo, para todo el periodo de simulación (ver Figura 9.11). Para generar el Informe de Energías seleccionar **Informes >> Energías** de la Barra de Menús. El informe tiene dos páginas con sus correspondientes pestañas. En una se muestra el consumo energético por cada bomba, en forma tabular. En la segunda se compara, mediante un diagrama de barras, el ratio de consumos elegido sobre el panel de la izquierda, para cada una de las bombas.




Bomba	Porcentaje Utilización	Rendimiento Medio	kWh /Mgal	Pot. Media Kw	Pot. Punta Kw	Coste /día
10	58.33	75.00	313.57	62.06	62.76	0.00
335	28.74	75.00	394.08	309.38	310.79	0.00
Coste Total						0.00
Término de Potencia						0.00

Figura 9.11 Ejemplo de un Informe de Energías

### Informe de Calibración

Un *Informe de Calibración* permite comprobar la bondad con que se ajustan los resultados de la simulación proporcionados por EPANET, a las medidas de campo tomadas sobre la red objeto del modelo. Para crear un Informe de Calibración:

1. Primero asegurarse de que los Datos de Calibración (o medidas de campo) para la magnitud que se desea calibrar hayan sido registrados antes en el proyecto (ver Apartado 5.3).
2. Seleccionar la opción **Informes >> Calibración** del menú principal.
3. Sobre el diálogo de *Opciones del Informe de Calibración* mostrado (ver Figura 9.12):
  - seleccionar la magnitud a calibrar
  - seleccionar los puntos de medida a utilizar en el informe
4. Pulsar el botón **Aceptar** para crear el informe.

Una vez creado el informe, se puede llamar de nuevo al diálogo de Opciones del Informe de Calibración, seleccionando **Informes >> Opciones** de la Barra de Menús, o pulsando el botón  de la Barra de Herramientas Estándar cuando la ventana activa del entorno de trabajo de EPANET es el citado informe.

En la figura 9.13 se muestra un ejemplo de un Informe de Calibración. Contiene tres páginas con sus correspondientes pestañas: Estadísticas, Gráfico de Correlación y Comparación de Valores Medios.

#### Página de Estadísticas

La página de *Estadísticas* del Informe de Calibración ofrece diversas estadísticas sobre las desviaciones entre los valores medidos y calculados para cada uno de los puntos de medida, así como para la red en su conjunto. Si alguna medida en algún punto hubiera sido tomada en un instante comprendido entre los instantes reportados en los resultados de la simulación, entonces el valor calculado para dicho instante se interpola entre los valores calculados en los extremos del intervalo a que pertenece la medida.

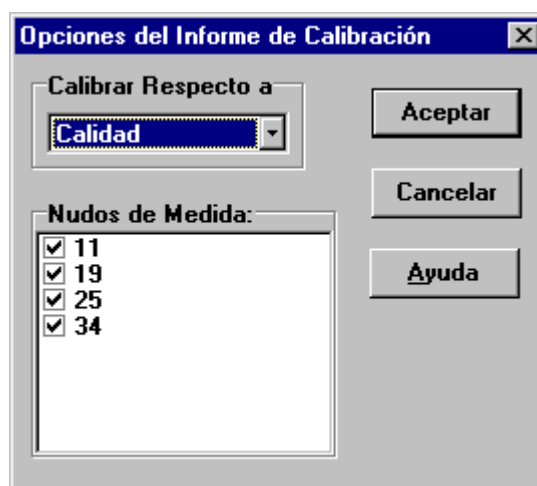


Figura 9.12 Diálogo de Opciones del Informe de Calibración

Estadística de Calibration para Flúor					
Ptos Medida	Núm Obs	Media Obs	Media Calc	Error Medio	Desv Típic
11	19	0.49	0.44	0.064	0.103
19	20	0.75	0.54	0.254	0.378
25	20	0.75	0.68	0.085	0.147
34	19	0.92	0.95	0.103	0.179
Red	78	0.73	0.65	0.128	0.229

Correlación entre Valores Medios: 0.895

Figura 9.13 Ejemplo de un Informe de Calibración

Las estadísticas calculadas para cada punto de medida son:

- Número de observaciones
- Valor medio de las medidas
- Valor medio de los valores calculados
- Media de los errores absolutos entre los valores medidos y calculados para todas las observaciones
- Error cuadrático medio (raíz cuadrada de la media de los errores cuadráticos entre los valores medidos y calculados para todas las observaciones).



También se proporcionan las estadísticas para toda la red en su conjunto (esto es, considerando todo los puntos de medida y todas las observaciones a un tiempo). Finalmente se indica la correlación existente entre los valores medios (exactamente el coeficiente de correlación entre la media de los valores observados y la media de los valores calculados en cada punto) .

#### Página de la Gráfica de Correlación

La página de la *Gráfica de Correlación* del Informe de Calibración muestra un gráfico de puntos dispersos cuyas coordenadas corresponden al valor medido y calculado en cada observación, para cada uno de los puntos de medida. A cada punto de medida se le asigna un color diferente para distinguir los puntos de la gráfica asociados con el mismo. Cuanto más se acerquen los puntos representados a una recta inclinada 45°, mayor será el grado de ajuste entre los valores medidos y calculados.

#### Página de Comparación de Valores Medios

La página de *Comparación de Valores Medios* del Informe de Calibración compara, mediante un diagrama de barras, los valores medios observados y calculados de la magnitud objeto de calibración, en cada uno de los puntos de medida.


#### Informe de Reacciones

El *Informe de Reacciones*, disponible siempre y cuando se haya modelizado el comportamiento de una sustancia reactiva transportada por el agua, muestra gráficamente el valor global medio de las reacciones habidas a lo largo de toda simulación, en los siguientes puntos:

- en el seno del agua, mientras ésta circula por las tuberías
- en las paredes de las tuberías
- en los depósitos de almacenamiento.


En un diagrama de sectores se muestra el porcentaje de contaminante consumido o generado en cada uno de estos puntos, respecto al consumo total habido. En la leyenda del diagrama se indica el consumo o aporte medio de sustancia (o velocidad media de reacción) en cada punto, en unidades de masa por día. Al pie del diagrama se refleja además la cantidad total de sustancia contaminante que es inyectada a la red, en las mismas unidades.

La información reflejada en el Informe de Reacción da una idea, a primera vista, de cuáles son los mecanismos responsables de la mayor parte del crecimiento o decrecimiento de la sustancia en la red. Por ejemplo, si la mayor parte de la pérdida de cloro en la red se produce en los depósitos y no en las paredes de las tuberías, cabe pensar que una política de limpieza y sustitución de las tuberías más antiguas va a tener poco efecto en la mejora del cloro residual.

También se puede activar un diálogo de Opciones de la Gráfica para modificar el aspecto del diagrama de sectores seleccionando **Informes >> Opciones** de la Barra de Menús, o pulsando el botón  de la Barra de Herramienta Estándar, o bien pulsando sobre el diagrama con el botón derecho del ratón.

## Informe Completo



Cuando aparece el icono  en la Barra de Estado, se puede crear un fichero de texto en disco, que contenga un informe completo de los resultados calculados para todos los nudos y líneas, en todos los instantes de tiempo. Para ello, elegir la opción **Completo** del menú **Informes**. Este informe, que puede verse o imprimirse desde fuera de EPANET utilizando cualquier editor o procesador de textos, contiene la siguiente información:

- el título del proyecto y su descripción
- un listado con los nudos extremos, longitud y diámetro de cada línea
- un listado con las estadísticas de consumo energético de cada bomba
- un par de tablas para cada instante de tiempo, en las cuales se listan los valores calculados en cada nudo (demanda, altura, presión y calidad) y en cada línea (caudal, velocidad, pérdida unitaria y estado).

Esta opción es útil sobretudo para documentar los resultados finales del análisis de una red de tamaño pequeño o moderado (un fichero de informe completo para una red grande y con un periodo de simulación largo puede consumir docenas de megabytes en el disco). Los otros tipos de informes descritos en este capítulo permiten analizar los resultados de una forma más selectiva.



## CAPITULO 10 - IMPRIMIR Y COPIAR

---

*En este capítulo se describe cómo imprimir, copiar al portapapeles de Windows, o copiar a un fichero el contenido de la ventana activa actual del espacio de trabajo de EPANET. Dicha ventana puede corresponder al esquema de la red, a una gráfica, a una tabla, a un informe, o a las propiedades de un objeto seleccionado desde la ventana del Visor.*

### 10.1 Selección de la Impresora

Para seleccionar la impresora a utilizar, de entre todas las impresoras instaladas en el entorno Windows, y establecer sus propiedades:

1. Seleccionar **Archivo >> Preparar página** del menú principal.
2. Pulsar el botón **Impresora** en el diálogo *Preparar Página* mostrado (ver Figure 10.1).
3. Seleccionar una impresora determinada, de entre todas las ofrecidas en el desplegable del nuevo diálogo mostrado.
4. Pulsar el botón **Propiedades** para seleccionar las propiedades de la impresora (éstas varían en función del tipo de impresora).
5. Pulsar **Aceptar** en cada uno de los diálogos abiertos, para aceptar las opciones elegidas.

### 10.2 Formato de la Página

Para establecer el formato de la página impresa:

1. Seleccionar **Archivo >> Preparar página** del menú principal
2. Utilizar la página de *Márgenes*, del diálogo *Preparar Página* mostrado (Figura 10.1), para:
  - Seleccionar una impresora
  - Seleccionar la orientación del papel (Vertical u Horizontal)
  - Fijar los márgenes izquierdo, derecho, superior e inferior
3. Utilizar la página de *Cabeceras/Pies* del mismo diálogo para:
  - Introducir el texto que aparecerá en la cabecera cada página
  - Indicar si la cabecera debe imprimirse o no, así como su alineación en el primer caso.
  - Introducir el texto que aparecerá al pie de cada página
  - Indicar si el pie debe imprimirse o no, así como su alineación en el primer caso.
  - Indicar si las páginas deben ir numeradas o no, y en caso afirmativo, la posición del número de página
4. Pulsar el botón **Aceptar** para validar todas las entradas.

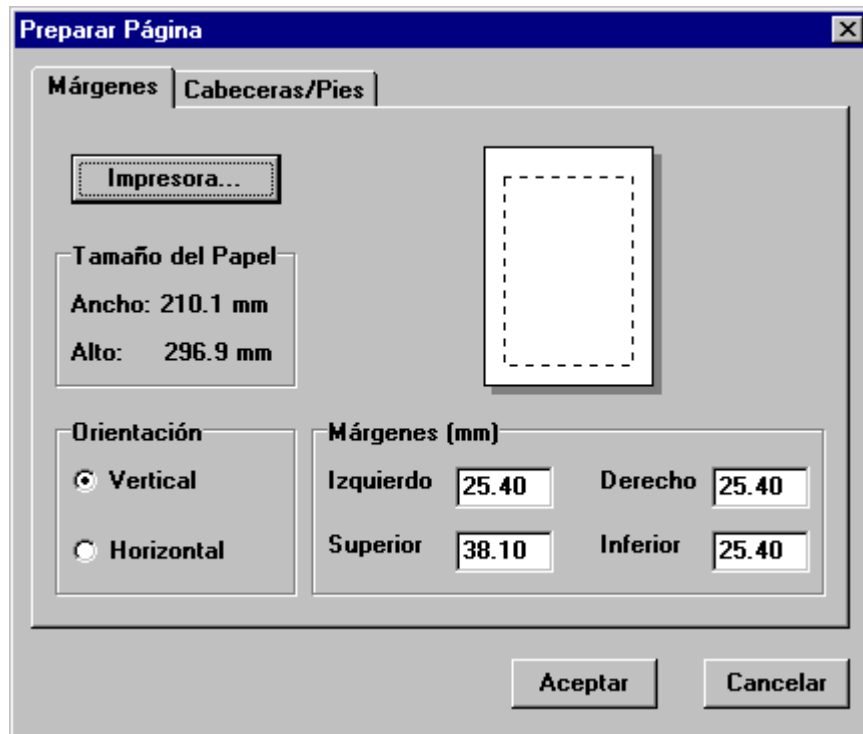



Figura 10.1 Diálogo Preparar Página

### 10.3 Vista Previa de la Página

Para obtener una *Vista Previa* de la página, seleccionar **Archivo >> Vista Previa** desde el menú principal. Aparecerá una nueva ventana, donde puede observarse el aspecto que presentará cada una de las páginas impresas del objeto elegido.

### 10.4 Impresión de la Ventana Actual


Para imprimir el contenido de la ventana actualmente seleccionada en el espacio de trabajo de EPANET, seleccionar **Archivo >> Imprimir** desde el menú principal o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar. Se pueden imprimir los siguientes objetos:

- Los Datos del Visor (las propiedades del objeto actualmente seleccionado)
- El Esquema de la Red (a la escala de visualización actual)
- Gráficas (Curvas de Evolución, Perfiles, Mapas de Isolíneas, Curvas de Distribución y Balance de Caudales)
- Tablas (Tablas de Elementos de la Red y Tablas de Evolución)
- Informes (Estado, Energías, Calibración y Reacciones).



## 10.5 Copiar al Portapapeles o a un Fichero

EPANET puede copiar los textos y gráficos de la ventana elegida tanto al portapapeles de Windows como a un fichero. Las ventanas que admiten estas opciones de copiado son la del Esquema de la Red, las Gráficas, las Tablas y los Informes. Para copiar el contenido de la ventana actual al portapapeles o a un fichero:

1. Seleccionar **Edición >> Copiar a** desde el menú principal, o pulsar el botón .
2. Seleccionar las opciones deseadas del diálogo *Copiar* mostrado (ver Figura 10.2) y pulsar el botón **Aceptar**.
3. Si se ha seleccionado copiar a fichero, introducir el nombre del fichero en el diálogo *Guardar Como* mostrado y pulsar **Aceptar**.

Para elegir cómo y dónde copiar los datos, utilizar el diálogo Copiar del siguiente modo:

1. Seleccionar un destino para transferir el contenido de la ventana (Portapapeles o Fichero)
2. Seleccionar el formato bajo el cual se desea copiar dicho contenido:
  - Mapa de bits (sólo para gráficos)
  - Metafichero (sólo para gráficos)
  - Datos (textos, celdas seleccionadas de una tabla, o datos utilizados para construir una gráfica)
3. Pulsar **Aceptar** para validar todas las opciones elegidas, o **Cancelar** para abandonar la acción de copiar.



Figura 10.2 Diálogo Copiar



## CAPITULO 11 - IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN

---

*Este capítulo introduce el concepto de Escenarios de un Proyecto y muestra cómo se pueden importar y exportar los diferentes tipos de datos, tales como el esquema de la red o la base de datos entera del proyecto.*

### 11.1 Escenarios de un Proyecto

Se entiende por Escenario de un Proyecto a un subconjunto de datos, de entre todos los que caracterizan las condiciones actuales bajo las cuales se está analizando la red. Un escenario puede contener una o más de las siguientes categorías de datos:

- Demandas en todos los nudos (demanda base y curva de modulación para todos los tipos de demanda)
- Calidad inicial del agua en todos los nudos
- Diámetros de todas las tuberías
- Coeficientes de rugosidad para todas las tuberías
- Coeficientes de reacción (en el medio y en la pared) para todas las tuberías
- Leyes de control simples y basadas en reglas.

EPANET puede compilar un escenario en base a alguna o todas las categorías de datos listadas, guardar el escenario en un fichero, y volver a leer el escenario más tarde.

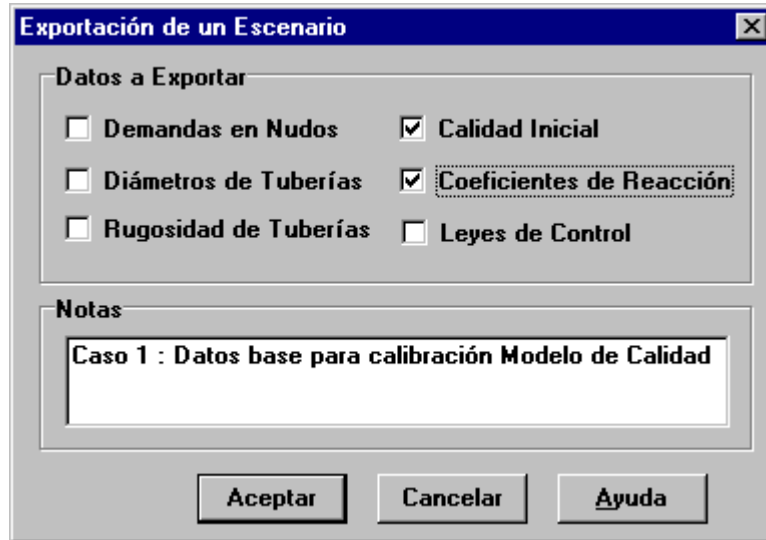
Los Escenarios proporcionan un método eficiente y sistemático de analizar las diversas alternativas de diseño y operación de la red. Pueden utilizarse para examinar el impacto de diferentes condiciones de carga, buscar valores óptimos de los parámetros de la red (en calibración por ejemplo), o evaluar los cambios en la red ante diversas estrategias de operación. Los ficheros de escenario se almacenan como ficheros de texto ASCII y pueden crearse o modificarse desde fuera de EPANET, utilizando un editor de textos o una hoja de cálculo.

### 11.2 Exportación de un Escenario

Para exportar un escenario de un proyecto a un fichero de texto:

1. Seleccionar **Archivo >> Exportar >> Escenario** desde el menú principal.
2. En el diálogo de *Exportación de un Escenario* mostrado (ver Figura 11.1) seleccionar las categorías de datos a exportar.
3. Escribir opcionalmente, en el campo reservado para Notas, una descripción del escenario a guardar.
4. Pulsar el botón **Aceptar** para confirmar todas las opciones.

5. En el diálogo *Guardar el Escenario Como*, mostrado a continuación, seleccionar una carpeta y el nombre del fichero de escenario. Los ficheros de escenario toman como extensión por defecto .SCN.
6. Pulsar el botón **Aceptar** para completar la exportación.



**Figura 11.1** Diálogo de Exportación de un Escenario

El escenario exportado puede ser importado de nuevo en el proyecto más tarde, como se describe en el próximo apartado.

### 11.3 Importación de un Escenario

Para importar un escenario a un proyecto desde un fichero:

1. Seleccionar **Archivo >> Importar >> Escenario** desde el menú principal.
2. Utilizar el diálogo *Abrir Fichero* para seleccionar el fichero de escenario a importar. En el recuadro titulado *Contenido* de dicho diálogo podrán verse las primeras líneas del fichero seleccionado, con la intención de ayudar a localizar el fichero deseado.
3. Pulsar el botón **Aceptar** para aceptar la selección.

Los datos contenidos en el fichero de escenario reemplazarán a cualquier otro dato existente del mismo tipo en el proyecto actual.

### 11.4 Importación Parcial de una Red

EPANET tiene la posibilidad de importar el trazado de las tuberías de una red desde un simple fichero de texto. La descripción de la red en este caso consta simplemente de los identificativos ID de los nudos, junto a sus coordenadas, y los identificativos ID de las líneas, junto a los ID de sus nudos extremos correspondientes (también se admiten vértices para definir el trazado de las líneas). Mediante este procedimiento se simplifica la utilización de programas de CAD o SIG, para digitalizar el trazado de la red y transferir a continuación estos datos a EPANET.



El formato de un fichero de texto utilizado para describir el trazado de una red es el siguiente (los textos entre corchetes < > describen el tipo de información que debe figurar en esa línea del fichero)<sup>13</sup>:

[ TITLE ]  
<descripción opcional del fichero>

[ JUNCTIONS ]  
<Identificativo ID de cada nudo>

[ PIPES ]  
<Identificativo ID de cada tubería, seguido por los identificativos ID de sus nudos extremos>

[ COORDINATES ]  
<Identificativo ID de un nudo y sus coordenadas X e Y>

[ VERTICES ]  
<Identificativo ID de una tubería y coordenadas X e Y de un vértice intermedio>

Obsérvese que sólo serán representados los nudos y tuberías de la red. Otros elementos, tales como depósitos y bombas, pueden importarse como nudos o tuberías respectivamente y reconvertirse posteriormente, o bien pueden ser añadidos más tarde. El usuario debe encargarse de transferir la información procedente de un sistema CAD o SIG a un fichero de texto con el formato indicado.

Además de esta representación parcial de la red, se pueden escribir todas las especificaciones completas de la red en un fichero de texto, utilizando el formato descrito en el Apéndice C. Es el mismo formato que utiliza EPANET cuando se exporta un proyecto a un fichero de texto (ver Apartado 11.7 más adelante). En este caso el fichero contendrá también las propiedades de los nudos y líneas, tales como cotas, demandas, diámetros, rugosidades, etc.

## 11.5 Importación del Esquema de una Red

Para importar las coordenadas del esquema de una red, almacenadas en un fichero de texto:

1. Seleccionar **Archivo >> Importar >> Esquema** desde el menú principal.
2. Seleccionar el fichero que contiene la información del esquema de la red, desde el diálogo *Abrir Fichero* mostrado.
3. Pulsar **Aceptar** para reemplazar el esquema actual de la red por el descrito en el fichero.

---

<sup>13</sup> Se ha preferido conservar los nombres en inglés de las distintas secciones del fichero, por compatibilidad con los ficheros ya preparados para la versión inglesa (NdT)

## 11.6 Exportación del Esquema de una Red

La vista actual del esquema de la red puede almacenarse en un fichero utilizando bien el formato DXF de Autodesk (Drawing eXchange Format), el formato metafile mejorado de Windows (EMF), o el formato de texto ASCII propio de EPANET (.map). El formato DXF es legible desde muchas aplicaciones CAD (Computer Aided Design). Los ficheros de tipo Metafile pueden insertarse en los documentos de un procesador de textos o cargarse en programas de dibujo para ser reescalados o editados. Ambos formatos son de tipo vectorial y no pierden resolución al mostrar el dibujo a diferentes escalas.

Para exportar el mapa completo de la red a un fichero DXF, metafile o de texto:

1. Seleccionar **Archivo >> Exportar >> Esquema** desde el menú principal.
2. En el diálogo de *Exportar el Esquema* mostrado (ver Figura 11.2), seleccionar el formato bajo el cual se desea guardar el esquema.
3. Si se selecciona el formato DXF, se puede aún elegir cómo representar los nudos en el fichero DXF. Las formas de representación posibles son mediante círculos sin rellenar, círculos rellenos o cuadrados rellenos. No todos los lectores de ficheros DXF pueden reconocer los comandos DXF utilizados para representar círculos rellenos.
4. Una vez elegido el formato, pulsar **Aceptar** e introducir el nombre del fichero en el diálogo *Guardar Como* mostrado a continuación.

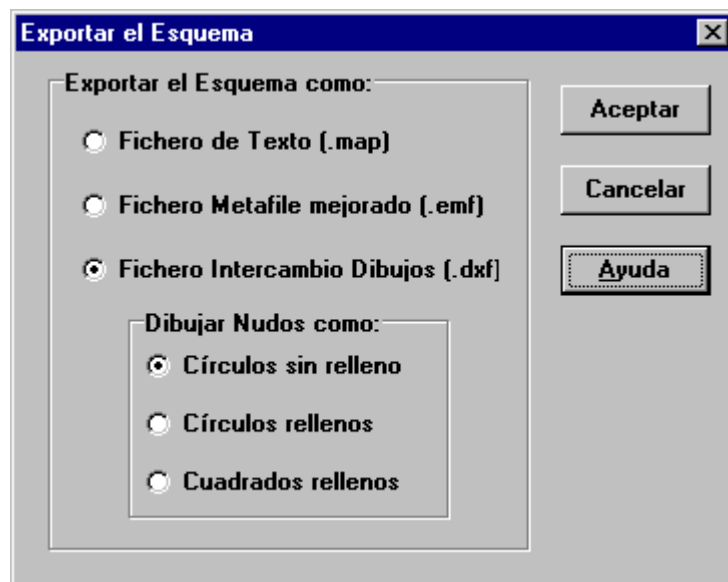


Figura 11.2 Diálogo para Exportar el Esquema





## 11.7 Exportación a Fichero de Texto

Para exportar los datos de un proyecto a un fichero de texto:

1. Seleccionar **Archivo >> Exportar >> Red** desde el menú principal.
2. En el diálogo *Guardar la Red Como*, introducir el nombre del fichero con que se desea guardar la información de la red (la extensión por defecto es .INP).
3. Pulsar el botón **Aceptar** para completar la exportación.

El fichero de salida será escrito en formato de texto ASCII, con los datos agrupados en distintas categorías, cada una precedida por una etiqueta que permite identificarla claramente. Este fichero puede leerse de nuevo desde EPANET para analizar la red en otro momento, utilizando el comando **Archivo >> Abrir** o bien el comando **Archivo >> Importar >> Red**, ambos desde el menú principal. La descripción completa de la red utilizando este formato de entrada, puede crearse desde fuera de EPANET utilizando cualquier editor de textos u hoja de cálculo. En el Apéndice C se da una descripción completa del formato de un fichero de entrada tipo .INP.

Es una buena idea guardar siempre una versión de toda la información contenida en la base de datos bajo este formato, de forma que ésta pueda resultar accesible para cualquier persona. Sin embargo, para el uso continuado de EPANET es más eficiente guardar los datos en el formato propio de los ficheros de proyecto (extensión .NET) utilizando la orden **Archivo >> Guardar** o **Archivo >> Guardar Como** del menú principal. Este formato contiene información adicional del proyecto, tal como los colores y rangos elegidos para las leyendas, el conjunto de opciones fijadas para ver el esquema, los nombres de los ficheros de calibración registrados, y cualquier opción de impresión que haya sido seleccionada.



## CAPITULO 12 - PREGUNTAS MÁS FRECUENTES

---

¿Cómo importar una red creada con un programa de CAD o SIG?

Ver el Apartado 11.4

¿Cómo modelizar un bombeo desde una perforación?

Representar el pozo como un embalse cuya altura sea igual a la altura piezométrica del acuífero subterráneo. A continuación conectar una bomba entre el embalse y la tubería de alimentación a la red. Se puede también añadir una tubería ficticia después de la bomba para representar las pérdidas en la rejilla del pozo<sup>14</sup>.

Si se conoce el caudal de extracción del pozo, una alternativa consiste en reemplazar el conjunto bomba-pozo por un nudo de caudal, y asignarle al mismo una demanda negativa igual al caudal del pozo. Si el caudal de extracción varía con el tiempo, se le puede asociar también una curva de modulación.

¿Cómo dimensionar una bomba para obtener un caudal determinado?

Fijar el estado de la bomba como **Parada**. En el nudo de aspiración de la bomba (entrada) añadir una demanda igual al caudal deseado, y añadir otra demanda del mismo valor y signo negativo en el nudo de impulsión. Una vez realizado el análisis, la diferencia de alturas piezométricas entre ambos nudos será la altura de la bomba requerida.

¿Cómo dimensionar una bomba para obtener una altura dada?

Reemplazar la bomba por una Válvula de Rotura de Carga orientada en dirección opuesta. Convertir la altura deseada en un salto de presión equivalente, y fijar éste como consigna de la válvula. Una vez realizado el análisis, el caudal que atraviesa la válvula será el caudal de diseño de la bomba.

¿Cómo forzar el flujo de entrada a la red desde los depósitos y su modulación?

Reemplazar los depósitos por nudos de caudal y asignarles una demanda negativa igual al caudal que se desea forzar en cada caso, junto a su modulación<sup>15</sup> (Asegurarse de que al menos queda un depósito o embalse activo en la red; en otro caso EPANET emitirá un mensaje de error)

---

<sup>14</sup> Si se quiere tener en cuenta el descenso dinámico del pozo, se puede intercalar entre el embalse y la bomba una válvula de propósito general, cuya curva de comportamiento responda a la curva de descenso del pozo. Además, deberá modelizarse también, a la salida de la bomba, la tubería de ascenso en el interior del pozo para considerar el desnivel entre el “embalse” y la cota del brocal, cuyas pérdidas pueden ser importantes en pozos de gran profundidad (NdT).

<sup>15</sup> Para modular el caudal entrante a un nudo, lo más práctico es asignarle una demanda base de -1, e introducir los valores absolutos del caudal como coeficientes de la curva de modulación (NdT)

### ¿Cómo analizar las condiciones de incendio en un nudo en particular?

Para determinar la presión máxima disponible en un nudo, cuando el caudal de demanda debe incrementarse para satisfacer las necesidades de un incendio, añadir el caudal de incendio a la demanda del nudo, realizar la simulación, y anotar la presión resultante en el nudo.

Para determinar el caudal máximo que puede suministrarse desde un nudo a una presión dada, forzar el coeficiente del emisor en el nudo a un valor muy elevado (p. ej. 100 veces el máximo caudal esperado) y añadir la presión requerida en el nudo a su cota (en el caso de emplear unidades US, multiplicar la presión en psi por 2,3, ya que 1 psi = 2,3 ft). Una vez realizada la simulación, el caudal de incendio disponible será la demanda resultante en el nudo, menos la demanda inicialmente asignada.

### ¿Cómo modelizar una válvula reguladora de presión con antirretorno, controlada por caudal?

Utilizar una Válvula de Propósito General cuya curva de pérdidas refleje un incremento de la pérdida a medida que se reduce el caudal.<sup>16</sup> Para construir dicha curva debe obtenerse información del fabricante. Ubicar además una válvula de retención (p. ej. una tubería corta con la opción VR como estado) en serie con la válvula general, para impedir el flujo inverso.

### ¿Cómo modelizar un calderín neumático presurizado?

Si la variación de la presión en el calderín es despreciable, emplear un depósito cilíndrico de gran diámetro y poca altura, y fijar su cota de solera próxima a la presión de trabajo del calderín. Seleccionar las dimensiones del depósito de modo que los cambios de volumen afecten muy poco a los cambios de nivel.

Si la presión manométrica en el interior del calderín varía entre  $H_1$  y  $H_2$ , siendo los volúmenes correspondientes de agua en el mismo  $V_1$  y  $V_2$ , utilizar un depósito ficticio de geometría variable, cuya curva de cubicación responda a la expresión:

$$V = V_1 \frac{H_1 + 10,3}{H + 10,3} \quad 17$$

donde  $V$  es el volumen de agua en el calderín, y  $H$  la altura manométrica en el mismo para dicho volumen, expresada en mca (Si  $p$  es la presión manométrica del aire en el calderín, en Kp/cm<sup>2</sup>, entonces  $H \gg 10 p$ ). Además, la cota del depósito debe fijarse en 0 m, para equiparar la altura manométrica al nivel del agua en el depósito ficticio. Si se conoce el volumen  $V_c$  del calderín, y la presión manométrica de llenado  $H_o$  cuando el aire ocupa todo el calderín, entonces la curva de cubicación puede también calcularse mediante la expresión:

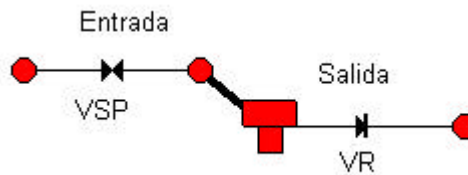
$$V = V_c \frac{H - H_o}{H + 10,3} \quad 17$$

<sup>16</sup> Normalmente las curvas de pérdidas de las válvulas muestran un incremento de la pérdida al aumentar el caudal. No obstante, existen, y empiezan a introducirse en el mercado español, válvulas reductoras cuya pérdida aumenta al disminuir el caudal de paso, con el fin de reducir la presión a la salida en las horas nocturnas de menor demanda y aumentarla en las horas de mayor demanda (NdT)

<sup>17</sup> Las expresiones anteriores se derivan del supuesto de un comportamiento isoterma del aire en el calderín, conforme a las ecuaciones  $p^* V_{\text{aire}} = p^*_1 V_{\text{aire},1} = p^*_o V_c$ , donde  $p^*$  (abs) =  $H + 10,3$  m y  $V_{\text{aire}} = V_c - V$  (NdT)

¿Cómo modelizar una descarga a un depósito por encima de la superficie libre?

Aplicar la configuración mostrada en la figura siguiente:



La entrada al depósito es simulada mediante una Válvula Sostenedora de Presión (VSP), seguida de una tubería de corta longitud y gran diámetro. La presión de consigna de la válvula se fija en 0 m y la cota de sus dos nudos extremos debe hacerse igual a la cota de descarga de la tubería de entrada. Añadir además una válvula de retención a la salida del depósito para impedir el flujo inverso.<sup>18</sup>

¿Cómo determinar las condiciones iniciales para llevar a cabo un análisis de calidad del agua?

Si existen mediciones experimentales del fenómeno a simular con motivo de una campaña de calibración, asignar los valores medidos en los nudos sobre los que se haya efectuado mediciones, e interpolar (de forma aproximada) para determinar los valores iniciales en los restantes nudos. Se recomienda fehacientemente incluir los depósitos y los puntos de inyección entre los puntos de medida.

Para simular condiciones futuras, comenzar asignando valores arbitrarios del parámetro de calidad en los nudos (excepto en los depósitos) y llevar a cabo una simulación prolongada durante un número de ciclos de demanda repetidos suficiente, hasta que los resultados de la calidad del agua se repitan también periódicamente. El número de ciclos necesarios puede reducirse si se hace una buena estimación inicial de la calidad del agua en los depósitos. Por ejemplo, si se modeliza el tiempo de permanencia del agua en la red, éste puede igualarse inicialmente al tiempo de permanencia del agua en los depósitos, el cual, expresado en horas, es aproximadamente es igual a 24 veces la fracción de volumen renovada diariamente.

¿Cómo estimar los valores de los coeficientes de reacción en el medio y en la pared?

Los coeficientes de reacción en el medio pueden estimarse realizando la medida sobre una muestra en un frasco de laboratorio (ver [Reacciones en el Medio](#) en el Apartado 3.4). Los coeficientes de reacción en la pared no pueden medirse directamente. Deben obtenerse por calibración a partir de los datos procedentes de campañas de medidas (p. ej. ajustando sus valores por procedimientos de prueba y error, hasta que los resultados del modelo se ajusten lo mejor posible a las medidas de campo). Las paredes de las tuberías de plástico y de las tuberías de hierro con revestimiento, normalmente no presentan una demanda de desinfectantes como el cloro o las cloraminas.

---

<sup>18</sup> El modelo propuesto se comporta igualmente bien, si el agua del depósito llegase a inundar la boca de descarga de la tubería. En tal caso, el nivel en el depósito impone la presión a la salida de la tubería, (igual a dicho nivel menos la cota de descarga) y la válvula PSV queda en estado abierto, ya que la presión aguas arriba superará los 0 m fijados como consigna (NdT)

### ¿Cómo modelizar una estación de recloración?

Situar la estación de recloración en un nudo con demanda cero o positiva, o bien en un depósito. Seleccionar el nudo en el Editor de Propiedades y pulsar el botón con puntos suspensivos del campo Intensidad de la Fuente, para abrir el Editor de Fuentes Contaminantes. En el Editor seleccionar como Tipo de Fuente **Reinyección a Punto Fijo**, e introducir en el campo Intensidad de la Fuente el valor de la concentración que el equipo de recloración se encarga de mantener fija a la salida. En el caso de que la estación de recloración simplemente incrementara la concentración del flujo que sale del nudo en un valor prefijado, seleccionar como Tipo de Fuente **Reinyección Incremental**, y poner como Intensidad de la Fuente el incremento de concentración a aplicar sobre la concentración del flujo que sale del nudo. Se puede especificar también el identificativo ID de una Curva de Modulación, si se desea cambiar la intensidad de la recloración con el tiempo.

### ¿Cómo modelizar el crecimiento de los THM en una red?

El crecimiento de los Trihalometanos (THM) en el agua puede modelizarse utilizando una cinética de saturación de primer orden. Seleccionar Opciones – Reacciones desde el Visor de Datos. Fijar el Orden de la Reacción en el Medio en 1 y la Concentración Límite en la concentración máxima que puede alcanzar la formación de THM en el agua, para un tiempo de permanencia del agua en la red muy prolongado. Fijar el coeficiente de reacción en el medio en un valor positivo que refleje el ritmo de producción de THM (p. ej. 0.7 dividido por el tiempo que tarda en duplicarse la concentración de THM). Estimaciones del coeficiente de reacción y de la concentración límite pueden obtenerse en el laboratorio. Hay que tener en cuenta, además, que el coeficiente de reacción se incrementa al aumentar la temperatura del agua. Los valores iniciales de la concentración de THM en todos los nudos de la red debe igualar como mínimo a la concentración de THM que entra en la red desde los puntos de inyección<sup>19</sup>.

### ¿Se puede utilizar un editor de textos para editar las propiedades de la red mientras se está ejecutando EPANET?

Guardar los datos de la red en un fichero de texto ASCII (seleccionar **Archivo >> Exportar >> Red**). Estando aún en ejecución EPANET, arrancar el editor de textos. Cargar en el editor el fichero de red creado, y una vez realizada la edición, guardarlo en disco. Volver a EPANET y leer el fichero (seleccionar **Archivo >> Abrir**). Se puede alternar entre EPANET y el editor de textos cuantas veces se quiera para realizar más cambios. Sólo hay que llevar cuidado en guardar los cambios realizados desde el editor, y reabrir el fichero desde EPANET cada vez. Si se utiliza como editor un procesador de textos (como por ejemplo el Write) o una hoja de cálculo, recordar que el fichero debe guardarse cada vez como un fichero de texto ASCII.

### ¿Se pueden ejecutar varias sesiones de EPANET al mismo tiempo?

Sí. Ello puede resultar útil para realizar comparaciones frente a frente de dos o más escenarios de diseño o de operación.

---

<sup>19</sup> Y no superar, por supuesto, el valor de la concentración límite (NdT)

## APÉNDICE A - UNIDADES DE MEDIDA<sup>20</sup>

PARÁMETRO	SIST. CONVENCIONAL US	SISTEMA MÉTRICO SI
Concentración	mg/l o µg/l	mg/l o µg/l
Demanda	(ver unidades de Caudal)	(ver unidades de Caudal)
Diámetro (Tuberías)	pulgadas	milímetros
Diámetro (Depósitos)	pies	metros
Rendimiento	tanto por cien	tanto por cien
Cota	pies	metros
Coefficiente del Emisor	unid. caudal / (psi) <sup>1/2</sup>	unid. caudal / (metros) <sup>1/2</sup>
Energía	kilovatios-hora	kilovatios-hora
Caudal	CFS (pies cúbicos / sec) GPM (galones / min) MGD (millones gal / día) IMGD (MGD Imperiales) AFD (acres-pies / día)	LPS (litros / sec) LPM (litros / min) MLD (megalitros / día) M3H (metros cúbicos / h) M3D (metros cúbicos / día)
Factor de Fricción	adimensional	adimensional
Altura Piezométrica	pies	metros
Longitud	pies	metros
Coef. Pérd. Menores	adimensional	adimensional
Potencia	caballos (US)	kilovatios
Presión	libras por pulgada cuadrada (psi)	metros
Coef. Reacción (Medio)	1/día (1 <sup>er</sup> orden)	1/día (1 <sup>er</sup> orden)
Coef. Reacción (Pared)	masa / pies cuadr./ día (orden 0) pies / día (1 <sup>er</sup> orden)	masa / metro <sup>2</sup> / día (orden 0) metros / día (1 <sup>er</sup> orden)
Coef. Rugosidad	10 <sup>-3</sup> pies (Darcy-Weisbach), adimensional en otro caso	milímetros (Darcy-Weisbach), adimensional en otro caso
Caudal Másico de una Fuente Contaminante	masa / minuto	masa / minuto
Velocidad	pies / segundo	metros / segundo
Volumen	pies cúbicos	metros cúbicos
Tiempo Permanencia	horas	horas

**Nota:** Las unidades convencionales US se adoptan automáticamente cuando se elige como unidades de caudal CFS, GPM, AFD, o MGD. Las unidades Métricas SI se adoptan automáticamente cuando se expresa el caudal en LPS, LPM, MLD, M3H, M3D.

<sup>20</sup> 1 pie = 0,3048 m; 1 pulg = 0,0254 m; 1 acre = 4047 m<sup>2</sup>; 1 galón (US) = 3,785 lit; 1 galón (Imp) = 4,546 lit;  
1 gpm (US) = 3,785 lpm = 0,063 l/s; 1 gpm (Imp) = 4,546 lpm = 0,0758 l/s;  
1 libra = 0,454 Kg; 1 psi (libra/pulgada<sup>2</sup>) = 0,7031 mca; 1 caballo (US) = 1,014 CV (SI) = 0,746 kW (NdT)





## APÉNDICE B - MENSAJES DE ERROR

---

<i>ID</i>	<i>Significado</i>
101	Se ha cancelado la simulación por falta de memoria disponible.
110	Se ha concluido el análisis al no poder resolver la ecuaciones hidráulicas. Comprobar si existen partes de la red no conectadas a ningún depósito o embalse, y si los valores de los datos de entrada son razonables.
200	Se han detectado uno o más errores entre los datos de entrada. La naturaleza del error se identifica mediante alguno de los errores de la serie 200 que se describen a continuación.
201	Hay un error sintáctico en una línea del fichero de entrada, creado a partir de los datos de la red. Este error es factible sólo para ficheros .INP creados por el usuario desde fuera de EPANET.
202	Se ha asignado un valor numérico ilegal a una propiedad.
203	Un objeto hace referencia a un nudo no definido.
204	Un objeto hace referencia a una línea no definida.
205	Un objeto hace referencia a una curva de modulación no definida.
206	Un objeto hace referencia a una curva de comportamiento no definida.
207	Se ha hecho un intento de controlar una válvula de retención. Cuando se declara que una tubería posee una Válvula de Retención con el Editor de Propiedades, su estado no puede cambiarse mediante una ley de control simple o basada en reglas.
208	Se ha hecho una referencia a un nudo no definido. Esto puede ocurrir en una ley de control, por ejemplo.
209	Se ha asignado un valor ilegal a una propiedad de un nudo.
210	Se ha hecho una referencia a una línea no definida. Esto puede ocurrir en una ley de control, por ejemplo.
211	Se ha asignado un valor ilegal a una propiedad de una línea.
212	El análisis de procedencias hace referencia a un nudo fuente no definido.
213	Alguna de las opciones de cálculo tiene un valor ilegal (por ejemplo, el intervalo de tiempo podría ser negativo).
214	Existen demasiados caracteres en una línea del fichero de entrada. Las líneas de un fichero .INP están limitadas a 255 caracteres.
215	Dos o más nudos (o líneas) comparten el mismo identificador ID.
216	Se han proporcionado datos energéticos para una bomba no definida.
217	Los datos energéticos asignados a una bomba no son válidos.
219	Se ha conectado ilegalmente una válvula a un depósito o a un embalse. Una VRP, VSP o VCQ no puede conectarse directamente a un depósito o embalse. Utilizar una tubería de corta longitud para separarlos.

- 220 Una válvula está conectada ilegalmente a otra válvula. Las VRP no pueden compartir el mismo nudo aguas abajo o asociarse en serie; las VSP no pueden compartir el nudo aguas arriba ni asociarse en serie; y las VSP no pueden conectarse directamente aguas abajo de una VRP.
- 221 Una regla de control contiene una cláusula fuera de lugar.
- 222 Los dos extremos de una línea tienen el mismo identificativo ID
- 223 No hay suficientes nudos en la red para realizar un análisis. Para que una red sea válida debe contener como mínimo un depósito o embalse y un nudo de caudal.
- 224 No existe ningún depósito o embalse en la red.
- 225 Los niveles inferior o superior especificados para algún depósito no son válidos (p. ej. el nivel inferior es mayor que el nivel superior).
- 226 No se ha especificado la curva característica o la potencia nominal de una bomba. Una bomba debe tener definida necesariamente el ID de una curva característica en la propiedad Curva Característica o una potencia nominal en la propiedad Potencia Nominal. Si se especifican ambas propiedades, prevalece la curva característica.
- 227 Una bomba tiene asignada una curva característica no válida. Una curva válida debe presentar alturas decrecientes para caudales crecientes.
- 230 Las abcisas X de una curva no están definidas en orden creciente
- 233 Hay un nudo que no está conectado a ninguna tubería.
- 302 El sistema no puede abrir el fichero de datos de entrada temporal. Asegúrese de que el Directorio Temporal de EPANET, declarado en las Preferencias, tiene privilegios de escritura. (ver Apartado 4.9)
- 303 El sistema no puede abrir el fichero de informe del estado. Ver el Error 302.
- 304 El sistema no puede abrir el fichero binario de salida. Ver el Error 302.
- 308 No se pueden guardar los resultados en un fichero. Ello puede deberse a que el disco está lleno.
- 309 No se pueden escribir los resultados en el fichero de informe. Ello puede deberse a que el disco está lleno.

## APÉNDICE C - EJECUCIÓN DE EPANET EN MODO COMANDO

---

### C.1 Instrucciones Generales

EPANET puede ejecutarse también en modo comando desde una ventana DOS, como una aplicación de consola. Para ello hay que escribir los datos de la red en un fichero de texto, obteniéndose los resultados en otro fichero de texto. La instrucción para ejecutar la versión castellana de EPANET en modo comando presenta la siguientes sintaxis:

```
epanes2d21 fichent fichinf fichsal
```

donde **fichent** es el nombre del fichero de entrada, **fichinf** es el nombre del fichero de informe con los resultados, y **fichsal** es el nombre de un fichero binario opcional, que almacena los resultados en un formato binario especial. Si este último fichero no es necesario, bastará con introducir los nombres de los dos primeros. Tal como está escrito el comando anterior, se supone que es lanzado desde el directorio en que reside EPANET, o bien que dicho directorio está incluido en la sentencia PATH del fichero AUTOEXEC.BAT. En otro caso, hay que introducir la ruta completa al especificar tanto el nombre del fichero ejecutable **epanes2d.exe** como los nombres de los ficheros que actúan como argumentos. Los mensajes de error emitidos cuando EPANET se ejecuta en modo comando son los mismos que cuando se ejecuta EPANET bajo Windows, y aparecen listados en el Apéndice B.

### C.2 Formato del Fichero de Entrada

El fichero de entrada requerido para ejecutar EPANET en modo comando tiene el mismo formato que los ficheros de texto generados desde la versión Windows mediante la opción **Archivo >> Exportar >> Red**. Está organizado en secciones, cada una de las cuales comienza con una palabra clave encerrada entre corchetes. Las palabras claves de las distintas secciones del fichero se listan a continuación<sup>22</sup>.

<i>Componentes de la Red</i>	<i>Operación del Sistema</i>	<i>Calidad del Agua</i>	<i>Opciones e Informes</i>	<i>Esquema de la Red/ Rótulos</i>
[TITLE]	[CURVES]	[QUALITY]	[OPTIONS]	[COORDINATES]
[JUNCTIONS]	[PATTERNS]	[REACTIONS]	[TIMES]	[VERTICES]
[RESERVOIRS]	[ENERGY]	[SOURCES]	[REPORT]	[LABELS]
[TANKS]	[STATUS]	[MIXING]		[BACKDROP]
[PIPES]	[CONTROLS]			[TAGS]
[PUMPS]	[RULES]			
[VALVES]	[DEMANDS]			
[EMITTERS]				

---

<sup>21</sup> La denominación del fichero ejecutable de EPANET en modo comando para la versión castellana (epanes2d.exe) se ha diferenciado de la correspondiente a la versión inglesa (epanet2d.exe), cuidando no sobrepasar el máximo de 8 caracteres por compatibilidad con las versiones más antiguas de DOS

<sup>22</sup> Nuevamente se ha optado por mantener las palabras claves de las distintas secciones del fichero de entrada en inglés, así como las numerosas opciones incluidas en cada sección, por compatibilidad con los ficheros de datos ya existentes, preparados para la versión inglesa

El orden en que se escriban las distintas secciones en el fichero es irrelevante. La única consideración a tener en cuenta es que cuando en una sección se hace referencia a un nudo o línea, éste debe haber sido declarado anteriormente en alguna de las siguientes secciones: [JUNCTIONS], [RESERVOIRS], [TANKS], [PIPES], [PUMPS], o [VALVES]. Por ello, se recomienda ubicar estas secciones al comienzo del fichero, justo después de la sección [TITLE]. Las secciones correspondientes al esquema de la red y los rótulos no son utilizadas durante la ejecución de EPANET en modo comando, de modo que pueden eliminarse del fichero.

Cada sección puede contener una o más líneas de datos. Se pueden insertar cuantas líneas en blanco se desee. El carácter punto y coma (;) indica que lo que sigue es un comentario y no debe interpretarse como dato. El número máximo de caracteres que puede tener una línea es de 255. Los identificativos ID utilizados para identificar los nudos, líneas, curvas de comportamiento y curvas de modulación pueden contener cualquier combinación de números y letras, hasta un máximo de 15.

La Figura C.1 muestra el fichero de entrada correspondiente a la red utilizada en la guía rápida del Capítulo 2.

```
[TITLE]
GUIA RAPIDA DE EPANET 2

[JUNCTIONS]
;ID  Cota  Demanda
;-----
2    700   0
3    710  150
4    700  150
5    650  200
6    700  150
7    700   0

[RESERVOIRS]
;ID  Altura
;-----
1    700

[TANKS]
;ID  Cota  NivIni  NivMin  NivMax  Diám  Volumen
;-----
8    830   4        0        20       60    0

[PIPES]
;ID  Nudo1  Nudo2  Long   Diám  Rugosidad
;-----
1    2      3      3000  14    100
2    3      7      5000  12    100
3    3      4      5000  8     100
4    4      6      5000  8     100
5    6      7      5000  8     100
6    7      8      7000  10    100
7    4      5      5000  6     100
8    5      6      7000  6     100
```

**Figura C.1** Ejemplo de Fichero de Entrada de EPANET  
(continúa en la página siguiente)



```
[PUMPS]
;ID Nudo1 Nudo2 Parámetros
;-----
9 1 2 HEAD 1

[PATTERNS]
;ID Multiplicadores
;-----
1 0.5 1.3 1 1.2

[CURVES]
;ID Coord-X Coord-Y
;-----
1 600 150

[QUALITY]
;Nudo CalInic
;-----
1 1

[REACTIONS]
Global Bulk -1
Global Wall 0

[TIMES]
Duration 24:00
Hydraulic Timestep 1:00
Quality Timestep 0:05
Pattern Timestep 6:00

[REPORT]
Page 0
Status NO
Summary NO

[OPTIONS]
Units GPM
Headloss H-W
Pattern 1
Quality Cloro mg/L
Tolerance 0.01

[END]
```

**Figura C.1** Ejemplo de Fichero de Entrada de EPANET  
(viene de la página anterior)

En las páginas siguientes se muestra el contenido y las palabras claves de cada sección, listadas por orden alfabético<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> Para introducir cualquier valor numérico en el fichero de datos de entrada, se deberá utilizar el punto decimal (y no la coma) como separador de la parte decimal (NdT)

## [BACKDROP]

### Propósito:

Identificar una imagen para ser utilizada como fondo del esquema de la red, y definir sus dimensiones.

### Formatos:

<b>DIMENSIONS</b>	<i>IIx IIy SDx SDy</i>
<b>UNITS</b>	<b>FEET/METERS/DEGREES/NONE</b>
<b>FILE</b>	<i>nombrefichero</i>
<b>OFFSET</b>	<i>X Y</i>

### Definiciones:

**DIMENSIONS** define las coordenadas X e Y de las esquinas Inferior Izquierda y Superior Derecha del rectángulo que delimita el mapa de fondo. Los valores por defecto son las coordenadas del rectángulo que enmarca a todos los nudos cuyas coordenadas figuran en la sección [COORDINATES].

**UNITS** especifica las unidades en que se expresan las dimensiones del mapa. La opción por defecto es NONE (ninguna).

**FILE** es el nombre del fichero que contiene el mapa de fondo.

**OFFSET** indica las distancias X e Y a que se encuentra desplazada la esquina superior izquierda del mapa de fondo respecto a la esquina superior izquierda del rectángulo que enmarca al esquema de la red. El valor por defecto es cero.

### Notas:

- La sección [BACKDROP] es opcional, y no se utiliza cuando EPANET se ejecuta en modo comando.
- Sólo pueden utilizarse como fondo ficheros de mapa de bits (.bmp) y ficheros tipo Enhanced Metafile de Windows (.emf).



## [CONTROLS]

### Propósito:

Definir las leyes de control simples, que permiten modificar el estado de las líneas en base a una condición única.

### Formato:

Una línea por cada ley de control, cuyo formato debe ser uno de los siguientes:

```
LINK IDlínea estado IF NODE IDnudo ABOVE/BELOW valor
```

```
LINK IDlínea estado AT TIME tiempo
```

```
LINK IDlínea estado AT CLOCKTIME hora_del_día AM/PM
```

donde:

Idlínea	=	identificativo ID de una línea
estado	=	OPEN ó CLOSED, la velocidad de giro de una bomba, o la consigna de una válvula
Idnudo	=	identificativo ID de un nudo
valor	=	la presión en un nudo o el nivel en un depósito
tiempo	=	un instante dado, contado desde el comienzo de la simulación, y expresado en horas o horas:minutos
Hora_del_día	=	una hora del día, expresada en horas:minutos y en el formato a.m (0h – medianoche, 12 h – mediodía) ó p.m (0h – mediodía, 12h – medianoche)

### Notas:

- Las leyes de control simple se utilizan para cambiar el estado de una línea o su consigna en base al nivel en un depósito, la presión en un nudo, la hora de la simulación o la hora del día en tiempo real.
- Ver las notas de la sección [STATUS] sobre las convenciones utilizadas para especificar el estado de las líneas y sus consignas, en particular para las válvulas de control.

### Ejemplos:

```
[CONTROLS]
;Cerrar la Línea 12 si el nivel del Depósito 23 excede de 20 pies
LINK 12 CLOSED IF NODE 23 ABOVE 20

;Abrir la Línea 12 si la presión en el Nudo 130 está por debajo de 30 psi
LINK 12 OPEN IF NODE 130 BELOW 30

;La velocidad relativa de la bomba PUMP02 se fija en 1.5 veces la
;velocidad nominal, a las 16 horas de la simulación
LINK PUMP02 1.5 AT TIME 16

;La línea 12 se cierra a las 10 am y se abre a las 8 pm
;a lo largo de toda la simulación
LINK 12 CLOSED AT CLOCKTIME 10 AM
LINK 12 OPEN AT CLOCKTIME 8 PM
```

## [COORDINATES]

**Propósito:**

Asignar a los nudos de la red sus correspondientes coordenadas en el esquema.

**Formato:**

Una línea para cada nudo, con la siguiente información:

- Identificativo ID del Nudo
- Coordenada X
- Coordenada Y

**Notas:**

- Incluir una línea por cada nudo del esquema.
- Las coordenadas representan la distancia del nudo a un origen de coordenadas arbitrario, situado en la parte inferior izquierda del esquema. Para expresar las distancias se puede utilizar cualquier unidad conveniente.
- No es requisito representar todos los nudos de la red en el esquema. Además, sus posiciones no tienen porqué corresponderse con ninguna escala real.
- La sección [COORDINATES] es opcional, y no se utiliza cuando EPANET se ejecuta en modo comando.

**Ejemplo:**

```
[COORDINATES]
;Nudo      Coord X      Coord Y
;-----
  1         10023       128
  2         10056       95
```





## [CURVES]

### Propósito:

Declarar los identificativos de las curvas de comportamiento de algunos elementos de la red, y las parejas de puntos X,Y que las determinan.

### Formato:

Una línea por cada punto X,Y de la curva, con la siguiente información:

- Identificativo ID de la curva
- Valor X
- Valor Y

### Notas:

- Las curvas pueden utilizarse para caracterizar las siguiente relaciones:
  - Altura frente a Caudal de una Bomba
  - Rendimiento frente a Caudal de una Bomba
  - Volumen frente a Nivel de un Depósito
  - Pérdida de Carga frente a Caudal de una Válvula
- Los puntos de una curva deben introducirse en orden creciente con respecto a los valores de X (de menor a mayor)
- Si el fichero de entrada va a ser leído desde la versión Windows de EPANET, añadiendo un comentario que contenga el tipo de curva y su descripción separados por dos puntos (:), justo antes de comenzar a introducir los valores X e Y de los puntos de la curva, hará que éstos se muestren correctamente en la ventana del Editor de Curvas de EPANET. Los tipos de curvas contemplados son PUMP (para Bomba), EFFICIENCY (para Rendimiento), VOLUME (para Curva de Cubicación), y HEADLOSS (para Curva de Pérdidas). Ver el ejemplo siguiente.

### Ejemplo:

```
[CURVES]
;ID   Caudal   Altura
;BOMBA: Curva para la Bomba 1
C1    0        200
C1    1000     100
C1    3000     0

;ID   Caudal   Rendim.
;RENDIMIENTO:
E1    200      50
E1    1000     85
E1    2000     75
E1    3000     65
```

## [DEMANDS]

### Propósito:

Complementar la sección [JUNCTIONS], para declarar múltiples tipos de demanda en los nudos de caudal.

### Formato:

Una línea por cada tipo de demanda aplicable en un nudo, con la siguiente información:

- Identificativo ID del nudo
- Demanda base (en unidades de caudal)
- Identificativo ID de la curva de demanda (opcional)
- Nombre del tipo de demanda, precedido por un punto y coma (opcional)

### Notas:

- a. Utilizar sólo para los nudos de caudal cuya demanda necesita ser modificada o complementada, respecto a la demanda introducida en la sección [JUNCTIONS].
- b. Los datos de esta sección reemplazan cualquier demanda introducida en la sección [JUNCTIONS] para el mismo nudo.
- c. No hay límite en cuando al número de tipos de demanda que pueden introducirse por nudo.
- d. Si no se suministra ninguna curva de modulación de la demanda, las demandas en el nudo seguirán la Curva de Modulación por defecto especificada en la sección [OPTIONS], o si ésta tampoco se hubiera declarado, la curva de modulación 1. Si la curva de modulación por defecto (o curva 1) no existiera tampoco, entonces se supondrá que la demanda permanece invariable.

### Ejemplo:

```
[DEMANDS]
;ID      Demanda   Patrón   Tipo demanda
;-----
J1       100       101     ;Doméstica
J1       25       102     ;Colegio
J256    50       101     ;Doméstica
```



## [EMITTERS]

### Propósito:

Definir las características de los nudos de caudal, cuando se modelizan como emisores (rociadores, hidrantes u orificios).

### Formato:

Una línea por cada emisor, con la siguiente información:

- Identificativo ID del nudo de caudal al cual va asociado el emisor.
- Coeficiente de caudal, o lo que es lo mismo, caudal descargado (en unidades de caudal) para una caída de presión de 1 psi (1 metro)

### Notas:

- a. Los emisores se utilizan para modelizar el caudal a través de un hidrante, un rociador o una fuga.
- b. El caudal que sale por un emisor es igual al producto del coeficiente de caudal, por la presión en el nudo elevada a un exponente.
- c. El exponente puede fijarse mediante la instrucción `EMITTER EXPONENT` de la sección [OPTIONS]. El valor del exponente por defecto es 0,5, el cual se aplicable a rociadores y toberas.
- d. La demanda total en un nudo reportada por el programa es la suma de la demanda fijada en el nudo, más el caudal de descarga a través del emisor.
- e. La sección [EMITTERS] es opcional.

**[ENERGY]****Propósito:**

Definir los parámetros utilizados para calcular el consumo energético de las bombas y sus costes asociados.

**Formatos:**

```
GLOBAL          PRICE/PATTERN/EFFIC  valor
PUMP  IDBomba  PRICE/PATTERN/EFFIC  valor
DEMAND CHARGE  valor
```

**Notas:**

- a. Las líneas que comienzan con la palabra clave **GLOBAL** se utilizan para fijar los valores por defecto correspondientes al precio de la energía, a la curva de modulación de ésta y al rendimiento medio para todas las bombas del sistema.
- b. Las líneas que comienzan con la palabra clave **PUMP** se utilizan para sustituir, para determinadas bombas, los valores por defecto por otros específicos.
- c. El significado de los parámetros es el siguiente:
  - **PRICE** = coste medio del kWh,
  - **PATTERN** = Identificativo ID de la curva de modulación que describe la variación del precio de la energía con el tiempo,
  - **EFFIC** = el rendimiento global, expresado en tanto por cien, para todas las bombas si se trata del valor por defecto, o el identificativo ID de la curva de rendimiento si se trata de una bomba específica,
  - **DEMAND CHARGE** = coste adicional en función de la potencia punta utilizada durante el periodo de simulación, en kW.
- d. El valor por defecto del rendimiento global es del 75% y del precio medio de la energía 0 pts/kWh.
- e. Todas las instrucciones de esta sección son opcionales. Las palabras separadas por una barra inclinada (/) indican posibles opciones.

**Ejemplo:**

```
[ENERGY]
GLOBAL PRICE      0.05      ;Fija el precio medio de la energía en 0,05 ud/kWh
GLOBAL PATTERN    PAT1      ;y su curva de modulación en el tiempo como PAT1
PUMP  23  PRICE    0.10      ;Reemplaza el precio medio de la energía de la
                                ;Bomba 23 por 0,1 ud/kWh
PUMP  23  EFFIC    E23      ;Asigna E23 como curva de rendimiento de la Bomba 23
```



## [JUNCTIONS]

### Propósito:

Definir las características de los nudos de caudal de la red.

### Formato:

Una línea por cada nudo de caudal, con la siguiente información:

- Identificativo ID
- Cota, en pies (m)
- Caudal de demanda base (en unidades de caudal) (opcional)
- Identificativo ID de la curva de modulación de la demanda (opcional)

### Notas:

- a. La sección [JUNCTIONS] es obligatoria, y debe contener al menos un nudo de caudal.
- b. Si no se especifica una curva de modulación, la demanda en el nudo seguirá la Curva de Modulación por Defecto declarada en la sección [OPTIONS], o bien la Curva 1 si tampoco se hubiera declarado ninguna por defecto. Si la curva de modulación por defecto (o Curva 1) no existiera, entonces la demanda se mantendría constante
- c. Las demandas pueden también introducirse en la sección [DEMANDS], donde es posible asociar varios tipos de demanda a un nudo.

### Ejemplo:

```
[JUNCTIONS]
;ID      Cota    Demanda  Patrón
;-----
J1      100     50       Pat1
J2      120     10
J3      115
;Se aplica el patrón de demanda por defecto
;Nudo sin demanda
```

## [LABELS]

### Propósito:

Identificar los rótulos del esquema y su posición, asignándoles unas coordenadas.

### Formato:

Una línea por cada rótulo, con la siguiente información:

- Coordenada X
- Coordenada Y
- Texto del rótulo, entre comillas
- Identificativo ID del nudo de anclaje del rótulo (opcional)

### Notas:

- a. Incluir una línea por cada rótulo del esquema.
- b. Las coordenadas corresponden a la esquina superior izquierda del rótulo, y están referidas a un origen arbitrario situado en la parte inferior izquierda del esquema.
- c. El nudo anclaje es opcional, y permite anclar el rótulo a un nudo del esquema durante las operaciones de re-escalado que siguen a las órdenes de acercar o alejar.
- d. La sección [LABELS] es opcional, y no se utiliza cuando EPANET se ejecuta en modo comando.

### Ejemplo:

```
[LABELS]
;Coord X      Coord Y      Etiqueta      Nudo Anclaje
;-----
 1230         3459         "Bomba 1"
 34.57        12.75        "Depósito Norte"    T22
```



## [MIXING]

### Propósito:

Identificar el tipo de modelo que mezcla que gobernará las reacciones en los depósitos.

### Formato:

Una línea por depósito, con la siguiente información:

- Identificativo ID del depósito
- Modelo de mezcla (MIXED, 2COMP, FIFO, o LIFO)
- Volumen del Compartimento (fracción del volumen total)

### Notas:

- Entre los posibles modelos de mezcla se contemplan:
  - Mezcla completa (MIXED)
  - Mezcla en dos compartimentos (2COMP)
  - Flujo en pistón horizontal (FIFO)
  - Flujo en pistón vertical (LIFO)
- El parámetro relativo al volumen del compartimento se aplica sólo al modelo de dos compartimentos, y representa la fracción del volumen total del depósito reservado para el compartimento de entrada/salida.
- La sección [MIXING] es opcional. En los depósitos no declarados en esta sección se supone que la mezcla es completa.

### Ejemplo:

```
[MIXING]
;Depósito  Modelo
;-----
T12        LIFO
T23        2COMP    0.2
```

## [OPTIONS]

### Propósito:

Declarar las distintas opciones de simulación.

### Formatos:

<b>UNITS</b>	<b>CFS / GPM / MGD / IMGD / AFD / LPS / LPM / MLD / CMH / CMD</b>
<b>HEADLOSS</b>	<b>H-W / D-W / C-M</b>
<b>HYDRAULICS</b>	<b>USE / SAVE</b> nombrefichero
<b>QUALITY</b>	<b>NONE / CHEMICAL / AGE / TRACE</b> id
<b>VISCOSITY</b>	valor
<b>DIFFUSIVITY</b>	valor
<b>SPECIFIC GRAVITY</b>	valor
<b>TRIALS</b>	valor
<b>ACCURACY</b>	valor
<b>UNBALANCED</b>	<b>STOP / CONTINUE / CONTINUE</b> n
<b>PATTERN</b>	id
<b>DEMAND MULTIPLIER</b>	valor
<b>EMITTER EXPONENT</b>	valor
<b>TOLERANCE</b>	valor
<b>MAP</b>	nombrefichero

### Definiciones:

**UNITS** establece las unidades en que se expresarán los caudales. Las opciones son:

<b>CFS</b>	=	pies cúbicos por segundo
<b>GPM</b>	=	galones por minuto (US)
<b>MGD</b>	=	millones de galones por minuto (US)
<b>IMGD</b>	=	MGD Imperiales (UK)
<b>AFD</b>	=	acres-pies por día
<b>LPS</b>	=	litros por segundo
<b>LPM</b>	=	litros por minuto
<b>MLD</b>	=	millones de litros por día
<b>CMH</b>	=	metros cúbicos por hora
<b>CMD</b>	=	metros cúbicos por día

Para las opciones **CFS**, **GPM**, **MGD**, **IMGD**, y **AFD** las restantes magnitudes se expresarán en unidades convencionales US. Si las unidades del caudal son **LPS**, **LPM**, **MLD**, **CMH** ó **CMD**, el resto de las magnitudes se expresarán en Unidades Métricas (SI) (Ver el apéndice A, Unidades de Medida). Las unidades de caudal por defecto son **GPM**<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> Se ha preferido mantener por defecto para las unidades del caudal gpm, en lugar de l/s, por compatibilidad con los ficheros de datos preparados para rodar en la versión inglesa





**HEADLOSS** selecciona una fórmula para calcular las pérdidas de carga a través de una tubería. Las fórmulas admitidas son Hazen-Williams (**H-W**), Darcy-Weisbach (**D-W**), o Chezy-Manning (**C-M**). Por defecto se supone **H-W**

La opción **HYDRAULICS** permite, o bien guardar (**SAVE**) la solución hidráulica actual en un fichero, o bien utilizar (**USE**) una solución hidráulica previamente almacenada. Ello resulta útil cuando están estudiando tan solo los factores que afectan al comportamiento de la calidad del agua.

**QUALITY** selecciona el tipo de análisis de calidad a realizar. Las opciones son **NONE** (ninguno), **CHEMICAL** (una sustancia química), **AGE** (tiempo de permanencia), y **TRACE** (procedencia). En lugar de **CHEMICAL** se puede escribir el nombre real de la sustancia a modelizar, seguido por las unidades de concentración a emplear (p.ej., **CLORO mg/l**). Si se selecciona la opción **TRACE**, ésta deberá ir seguida por el identificativo ID del nudo del procedencia. La opción por defecto es **NONE** (no realizar ningún análisis de calidad).

**VISCOSITY** es la viscosidad cinemática del fluido que circula por la red, referida a la del agua a 20°C (1,0 centistoke). El valor por defecto es 1,0

**DIFFUSIVITY** es el coeficiente de difusión molecular de las sustancia química cuyo comportamiento se está analizando, referido al coeficiente de difusión del cloro en agua. El valor por defecto es 1,0. El coeficiente de difusión se utiliza solamente cuando se consideran limitaciones en la transferencia de masa para las reacciones con la pared de las tuberías. Si se introduce un valor 0, EPANET ignorará las limitaciones de transferencia de masa

**SPECIFIC GRAVITY** es el cociente entre la densidad del fluido que circula por la red y la del agua a 4° C (sin unidades). El valor por defecto es 1,0

**TRIALS** es el número máximo de iteraciones permitido para resolver las ecuaciones de equilibrio hidráulico en cada intervalo de cálculo. El valor por defecto es 40.

**ACCURACY** es la tolerancia que determina cuándo el proceso ha convergido, y se ha alcanzado por tanto una solución hidráulica válida. Las iteraciones terminan cuando la suma de las variaciones de caudal habidas con respecto a la solución anterior, dividida por el caudal total que circula por todas las líneas, es menor que la tolerancia. El valor por defecto es 0,001.

**UNBALANCED** determina qué hacer cuando no se puede alcanzar una solución de equilibrio hidráulico dentro del número máximo de iteraciones indicado en la opción **TRIALS**, en algún momento de la simulación. La opción **"STOP"** detiene la simulación en dicho punto; la opción **"CONTINUE"** indica que se continúe el análisis, emitiendo un mensaje de advertencia. Finalmente, la opción **"CONTINUE n"** indica que continúe buscando la solución durante "n" iteraciones adicionales, manteniendo fijo el estado actual de todas las líneas. La simulación continuará en cualquier caso a partir de este punto, señalando en un mensaje si la convergencia ha sido conseguida o no. La opción por defecto es **"STOP"**.

**PATTERN** establece el identificativo ID de la curva de modulación por defecto a aplicar a todos los nudos de demanda que no posean una curva de modulación definida. Si dicha curva no está declarada en la sección [PATTERNS], entonces la curva de modulación por defecto consistirá en un multiplicador único, de valor 1,0. Si no se utiliza esta opción, la curva de modulación por defecto tendrá como identificativo el "1".

La opción **DEMAND MULTIPLIER** se utiliza para ajustar el valor de la demanda base de todos los nudos, y para todos los tipos de demanda. Por ejemplo, un valor 2 significa duplicar todas las demandas base, mientras que un valor 0,5 significa reducirlas a la mitad. El valor por defecto 1,0.

**EMITTER EXPONENT** fija el exponente al cual hay que elevar el valor de la presión en un nudo para determinar el caudal de descarga en el emisor asociado. El valor por defecto es 0,5

**TOLERANCE** es la diferencia permitida en el valor de la calidad del agua, al objeto de determinar si la calidad de una porción de agua es equivalente a la de otra contigua o no. El valor por defecto es 0,01 para todos los tipos de análisis de calidad (sustancia química, tiempo de permanencia (medido en horas), o procedencia (medida en tanto por cien)).

**MAP** se utiliza para proporcionar el nombre de un fichero con las coordenadas de los nudos de la red, al objeto de representar el esquema de ésta. No se utiliza durante los cálculos de una simulación hidráulica o de un análisis de calidad.

**Notas:**

- a. Todas las opciones asumen sus valores por defecto, si no se especifican en esta sección.
- b. Las palabras clave separadas por una barra inclinada (/) indican posibles alternativas.

**Ejemplo:**

```
[ OPTIONS ]
UNITS      CFS
HEADLOSS   D-W
QUALITY     TRACE Tank23
UNBALANCED CONTINUE 10
```



## [PATTERNS]

### Propósito:

Definir las diferentes curvas de modulación en el tiempo (o patrones), aplicables a demandas, alturas de embalse, curvas de velocidad de las bombas, precios de la energía, e intensidad de una fuente contaminante.

### Formato:

Una o más líneas por cada curva patrón, con la siguiente información:

- Identificativo ID de la curva patrón
- Uno o más multiplicadores, secuenciados en el tiempo

### Notas:

- Un multiplicador es un factor que multiplica a cierto valor base (p. ej. una demanda), para determinar el valor real correspondiente a cada instante de la simulación.
- Todas las curvas de modulación comparten el mismo intervalo de tiempo, el cual es definido en la sección [TIMES].
- Cada curva de modulación puede contener un número diferente de periodos de tiempo.
- Cuando el tiempo de simulación excede al periodo abarcado por la curva de modulación, ésta se repite comenzando por el primer periodo.
- Se pueden utilizar cuantas líneas sean necesarias para definir la totalidad de multiplicadores que componen una curva de modulación.

### Ejemplo:

```
[PATTERNS]
;Curva modulación M1
M1 1.1 1.4 0.9 0.7
M1 0.6 0.5 0.8 1.0
;Curva modulación M2
M2 1 1 1 1
M2 0 0 1
```

**[PIPES]****Propósito:**

Definir las características de todas las tuberías existentes en la red.

**Formato:**

Una línea por cada tubería, con la siguiente información:

- Identificativo ID de la tubería
- Identificativo ID del nudo inicial
- Identificativo ID del nudo final
- Longitud, en pies (m)
- Diámetro, en pulgadas (mm)
- Coeficiente de Rugosidad
- Coeficiente de Pérdidas Menores
- Estado (OPEN, CLOSED, ó CV)

**Notas:**

- a. El coeficiente de rugosidad no tiene dimensiones para las fórmulas de pérdidas de Hazen-Williams y Chezy-Manning, mientras que para la fórmula de Darcy-Weisbach sus unidades son milipés (mm). La elección de la fórmula de pérdidas se realiza en la sección [OPTIONS] .
- b. Si se declara el estado de una tubería como CV, se entiende que la tubería posee una válvula de retención que impide el flujo inverso.
- c. Si el coeficiente de pérdidas menores es 0 y la tubería está abierta (OPEN), estos dos parámetros pueden omitirse de la línea de datos.

**Ejemplo:**

```
[PIPES]
;ID  Nudo1  Nudo2  Longitud  Diám.  Rugosidad  PerdMen  Estado
;-----
P1   J1     J2     1200     12     120        0.2     OPEN
P2   J3     J2     600      6      110        0       CV
P3   J1     J10    1000     12     120
```



## [PUMPS]

### Propósito:

Definir las características de todas las bombas existentes en la red.

### Formato:

Una línea por cada bomba, con la siguiente información:

- Identificativo ID de la bomba
- Identificativo ID del nudo de aspiración
- Identificativo ID del nudo de impulsión
- Palabra clave y valor correspondiente (pueden ser varias)

### Notas:

- Las palabras claves admitidas son:
  - **POWER** – Potencia nominal para una bomba que trabaja a potencia constante, en hp (kW)
  - **HEAD** – Identificativo ID de la curva característica de la bomba (altura frente a caudal)
  - **SPEED** – Consigna de velocidad relativa (un 1 corresponde a la velocidad nominal; un 0 significa que está parada)
  - **PATTERN** – Identificativo ID de la curva de modulación que describe cómo varía la velocidad con el tiempo
- Para todas las bombas debe proporcionarse la clave **POWER** ó la clave **HEAD**. Las otra claves son opcionales.

### Ejemplo:

```
[ PUMPS ]
;ID      Nudo1      Nudo2      Propiedades
;-----
Pump1    N12       N32       HEAD Curva1
Pump2    N121      N55       HEAD Curva1  SPEED 1.2
Pump3    N22       N23       POWER 100
```

## [QUALITY]

**Propósito:**

Definir la calidad inicial del agua en todos los nudos.

**Formato:**

Una línea por cada nudo, con la siguiente información:

- Identificativo ID del Nudo
- Calidad inicial

**Notas:**

- a. La calidad inicial se supone cero para todos los nudos no listados en esta sección
- b. La calidad del agua puede interpretarse como la concentración de una sustancia química, las horas de permanencia del agua en la red, o el porcentaje del agua que llega a un nudo procedente de otro nudo.
- c. La sección [QUALITY] es opcional.



## [REACTIONS]

### Propósito:

Definir los parámetros relacionados con las reacciones químicas que ocurren en el interior de la red

### Formatos:

**ORDER BULK/WALL/TANK** valor  
**GLOBAL BULK/WALL** valor  
**BULK/WALL/TANK** IDtub/IDdepós valor  
**LIMITING POTENTIAL** valor  
**ROUGHNESS CORRELATION** valor

### Definiciones:

**ORDER** es utilizado para fijar el orden de las reacciones que ocurren en el seno del fluido, en las paredes de las tuberías, o en los depósitos respectivamente. El orden de las reacciones con la pared puede ser 0 ó 1. Si no se introduce este parámetro, se supone que el orden de la reacción por defecto es 0.

**GLOBAL** es utilizado para especificar un valor global de los coeficientes de reacción en el medio (tuberías y depósitos) y/o en la pared, para todas las tuberías. El valor por defecto es cero

**BULK**, **WALL**, y **TANK** se utilizan para sustituir los valores globales de los coeficiente de reacción por valores específicos para determinadas tuberías o depósitos

**LIMITING POTENTIAL** especifica que las velocidades de reacción van a ser proporcionales a la diferencia entre la concentración actual y un cierto valor potencial límite.

**ROUGHNESS CORRELATION** hace que los coeficientes de reacción en las paredes de todas las tuberías se vean relacionados con la rugosidad de las mismas del siguiente modo

<u>Ecuación de Pérdidas</u>	<u>Correlación con la Rugosidad</u>
Hazen-Williams	$F / C$
Darcy-Weisbach	$F / \log (e/D)$
Chezy-Manning	$F * n$

donde  $F$  = coeficiente de correlación con la rugosidad,  $C$  = coeficiente  $C$  de Hazen-Williams,  $e$  = rugosidad de Darcy-Weisbach,  $D$  = diámetro de la tubería, y  $n$  = coeficiente de rugosidad de Chezy-Manning. Los valores por defecto calculados de este modo pueden ser reemplazados para algunas tuberías en particular por otro valor especificado mediante la instrucción **WALL**.

### Notas:

- Recordar que hay que utilizar coeficientes positivos para las reacciones de crecimiento, y coeficientes negativos para las reacciones de decrecimiento.
- Las unidades de tiempo para todos los coeficientes de reacción son 1/día.
- Todas las instrucciones de esta sección son optativas. Las palabras separadas por una barra inclinada (/) indican opciones alternativas.

**Ejemplo:**

```
[REACTIONS]
ORDER WALL    0      ;La reacción en la pared es de orden cero
GLOBAL BULK  -0.5    ;Coeficiente de reacción global en el medio
GLOBAL WALL  -1.0    ;Coeficiente de reacción global en la pared
WALL   P220   -0.5    ;Coeficientes de reacción en la pared para
WALL   P244   -0.7    ;algunas tuberías concretas
```





## [REPORT]

### Propósito:

Configurar el contenido del fichero de resultados generado tras una simulación.

### Formatos:

<b>PAGESIZE</b>	valor
<b>FILE</b>	nombre_fichero
<b>STATUS</b>	<b>YES/NO/FULL</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>YES/NO</b>
<b>ENERGY</b>	<b>YES/NO</b>
<b>NODES</b>	<b>NONE/ALL/nudo1 nudo2 ...</b>
<b>LINKS</b>	<b>NONE/ALL/línea1 línea2 ...</b>
parámetro	<b>YES/NO</b>
parámetro	<b>BELOW/ABOVE/PRECISION</b> valor

### Definiciones:

**PAGESIZE** determina el número de líneas escritas por página del fichero de informe. El valor por defecto es 0, lo que significa que no hay límite de líneas por página.

**FILE** es el nombre del fichero donde se escribirá el informe de resultados (es ignorado en la versión Windows de EPANET).

**STATUS** determina si va a reportar o no en el informe el estado de los distintos componentes de la red. Si se elige la opción **YES**, en el informe se reportarán todos los componentes de la red que han cambiado su estado en cada intervalo de cálculo de la simulación. Si se elige **FULL** en el informe de estado se incluirá también toda la información referente al número de iteraciones y convergencia final obtenida para cada instante de cálculo. Tal nivel de detalle es útil sólo para depurar la información en las redes en que no pueda alcanzarse el equilibrio hidráulico. La opción por defecto es **NO**.

**SUMMARY** determina si se reportará o no en el informe una tabla resumen, con el número de componentes de cada tipo en la red y las opciones de cálculo elegidas. El valor por defecto es **YES**.

**ENERGY** determina si se reportará o no en el informe una tabla con el consumo medio energético para cada bomba, y el coste asociado. El valor por defecto es **NO**.

**NODES** especifica los nudos que van a ser reportados en el informe. Se pueden listar individualmente los ID de los nudos deseados, o utilizar las palabras claves **NONE** (ninguno) ó **ALL** (todos). Se pueden utilizar líneas adicionales, comenzando con la palabra **NODES**, para ampliar la lista de nudos a reportar. La opción por defecto es **NONE**.

**LINKS** especifica las líneas del modelo que van a ser reportadas en el informe. Se pueden listar individualmente los ID de las líneas deseadas, o utilizar las palabras claves **NONE** (ninguno) ó **ALL** (todos). Se pueden utilizar líneas adicionales, comenzando con la palabra **LINKS**, para ampliar la lista de líneas del modelo a reportar. La opción por defecto es **NONE**.

La opción “parámetro” se utiliza para identificar las magnitudes a reportar, el número de decimales a mostrar para cada magnitud, y el tipo de filtro a aplicar para limitar el volumen de los resultados. Las magnitudes asociadas a los nudos que pueden reportarse son:

- **Elevation** (cota)
- **Demand** (demanda)
- **Head** (altura piezométrica)
- **Pressure** (presión)
- **Quality** (calidad)

Las magnitudes asociadas a las líneas que pueden reportarse son:

- **Length** (longitud)
- **Diameter** (diámetro)
- **Flow** (caudal)
- **Velocity** (velocidad)
- **Headloss** (pérdida unitaria)
- **LinkQuality** (calidad media en la línea)
- **State** (equivalente al estado – abierto, activo o cerrado)
- **Setting** (Rugosidad para las tuberías, velocidad para las bombas, consigna de presión/caudal para la válvulas)
- **Reaction** (velocidad de reacción)
- **F-Factor** (factor de fricción).

Las magnitudes reportadas por defecto para los nudos son **Demand**, **Head**, **Pressure**, y **Quality**, y para las líneas **Flow**, **Velocity**, y **Headloss**. La precisión utilizada por defecto para todas ellas son dos decimales.

#### Notas:

- a. Todas las opciones asumen sus valores por defecto, si no se especifican en esta sección.
- b. Las palabras separadas por una barra inclinada (/) indican alternativas posibles.
- c. La opción por defecto es no reportar ningún nudo y ninguna línea, de modo que deben utilizarse las instrucciones **NODES** o **LINKS** si se quiere reportar alguna información de los mismos.
- d. En la versión Windows de EPANET, la única opción reconocida de la sección [REPORT] es **STATUS**. Todas las demás serán ignoradas.

#### Ejemplo:

En el siguiente ejemplo se especifica que hay que reportar en el informe los nudos N1, N2, N3, y N17, así como todas las líneas cuya velocidad sea mayor de 3,0 (pies/seg). Para los nudos se reportarán las magnitudes estándar (Demanda, Altura, Presión y Calidad), mientras que para las líneas se reportarán solo el Caudal, la Velocidad y el Factor de Fricción (F-Factor).

```
[REPORT]
NODES N1 N2 N3 N17
LINKS ALL
FLOW YES
VELOCITY PRECISION 4
F-FACTOR PRECISION 4
VELOCITY ABOVE 3.0
```



## [RESERVOIRS]

**Propósito:**

Definir las características de todos los embalses existentes en la red

**Formato:**

Una línea por cada embalse, con la siguiente información:

- Identificativo ID
- Altura, en pies (m)
- Identificativo ID de la Curva de Modulación de la Altura (opcional)

**Notas:**

- a. La Altura hace referencia a la altura piezométrica en el embalse (cota + altura de presión).
- b. Se puede emplear una curva de modulación para hacer variar la altura con el tiempo.
- c. En la red debe haber como mínimo un embalse o un depósito.

**Ejemplo:**

```
[RESERVOIRS]
;ID      Altura  Modulac.
;-----
R1      512                ; la altura permanece constante
R2      120      Mod1      ; la altura varía con el tiempo
```

## [RULES]

### Propósito:

Definir las leyes de control basadas en reglas, que modifican el estado o consignas de las líneas en base a un conjunto de condiciones simultáneas.

### Formato:

Cada regla consiste en una serie de instrucciones del tipo:

```

RULE IDregla
IF condición_1
AND condición_2
OR condición_3
AND condición_4
etc.
THEN acción_1
AND acción_2
etc.
ELSE acción_3
AND acción_4
etc.
PRIORITY Prioridad

```

donde:

```

IDregla      = un identificador ID asignado a la regla
condición_n  = una cláusula de condición
Acción_n     = una cláusula de acción
Prioridad    = un orden de prioridad (p.ej. un número del 1 al 5)

```

### Formato de las Cláusulas de Condición:

Una cláusula de condición en un Ley de Control basada en Reglas presenta la siguiente sintaxis:

```
objeto id atributo relación valor
```

donde

```

objeto      = un tipo de objeto de la red
id          = el identificador ID del objeto
atributo    = un atributo o propiedad del objeto
relación    = un operador relacional
valor      = el valor de un atributo

```

A continuación se muestran algunos ejemplos de cláusulas de condición:

```

JUNCTION 23 PRESSURE > 20
TANK T200 FILLTIME BELOW 3.5

```



```
LINK 44 STATUS IS OPEN
SYSTEM DEMAND >= 1500
SYSTEM CLOCKTIME = 7:30 AM
```

Los tipos de objetos contemplados deben ser alguno de los siguientes:

<b>NODE</b>	<b>LINK</b>	<b>SYSTEM</b>
<b>JUNCTION</b>	<b>PIPE</b>	
<b>RESERVOIR</b>	<b>PUMP</b>	
<b>TANK</b>	<b>VALVE</b>	

Cuando se utiliza el objeto **SYSTEM** no hay que proporcionar ningún identificativo ID.

Los siguientes atributos pueden aplicarse a los objetos tipo Nudo:

**DEMAND**  
**HEAD**  
**PRESSURE**

Los siguientes atributos pueden aplicarse a los objetos tipo Depósito:

**LEVEL**  
**FILLTIME** (horas requeridas para llenar un depósito)  
**DRAINTIME** (horas requeridas para vaciar un depósito)

Los siguientes atributos pueden aplicarse a los objetos tipo Línea:

**FLOW**  
**STATUS** (**OPEN**, **CLOSED**, o **ACTIVE**)  
**SETTING** (velocidad de una bomba, o consigna de una válvula)

Los siguientes atributos puede aplicarse al objeto tipo **SYSTEM** :

**DEMAND** (demanda total del sistema)  
**TIME** (tiempo en horas desde el comienzo de la simulación , expresado como hora decimal o con el formato horas:minutos)  
**CLOCKTIME** (hora real del día, seguida del sufijo **AM** ó **PM** )

Los operadores relacionales deben ser alguno de los siguientes:

=       **IS**  
<>      **NOT**  
<       **BELOW**  
>       **ABOVE**  
<=      **>=**

**Formato de las Cláusulas de Acción:**

Una cláusula de acción en una Ley de Control basada en Reglas presenta la siguiente sintaxis:

```
objeto id STATUS/SETTING IS valor
```

donde

```
objeto = la palabra clave LINK, PIPE, PUMP, ó VALVE
id      = el identificador ID del objeto
valor  = una condición de estado (OPEN ó CLOSED), la velocidad de una bomba, o
        la consigna de una válvula
```

A continuación se muestran algunos ejemplos de cláusulas de acción:

```
LINK 23 STATUS IS CLOSED
PUMP P100 SETTING IS 1.5
VALVE 123 SETTING IS 90
```

**Notas:**

- Sólo las instrucciones **RULE**, **IF** y **THEN** de una ley de control son requeridas estrictamente; las otras partes son opcionales.
- Cuando se mezclan las cláusulas **AND** y **OR**, el operador **OR** tiene precedencia sobre el operador **AND**. Por ejemplo,

```
IF A or B and C
```

es equivalente a

```
IF (A or B) and C
```

Si en realidad lo que se quería decir es

```
IF A or (B and C)
```

habrá que utilizar para ello las dos reglas siguientes

```
IF A THEN ...
IF B and C THEN ...
```

- El orden estipulado en la cláusula **PRIORITY** se utiliza para determinar qué regla es aplicable cuando dos o más acciones sobre una misma línea entran en conflicto. Una regla que no tenga una prioridad especificada siempre tendrá menor prioridad que otra que sí que la tenga. Para dos reglas con la misma prioridad, prima la que aparece en primer lugar dentro de la sección.

**Ejemplo:**

```
[RULES]
RULE 1
IF TANK 1 LEVEL ABOVE 19.1
THEN PUMP 335 STATUS IS CLOSED
AND PIPE 330 STATUS IS OPEN

RULE 2
IF SYSTEM CLOCKTIME >= 8 AM
AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 PM
AND TANK 1 LEVEL BELOW 12
THEN PUMP 335 STATUS IS OPEN

RULE 3
IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 PM
OR SYSTEM CLOCKTIME < 8 AM
AND TANK 1 LEVEL BELOW 14
THEN PUMP 335 STATUS IS OPEN
```



## [SOURCES]

### Propósito:

Declarar la ubicación de las fuentes de inyección de contaminantes y sus propiedades.

### Formato:

Una línea por cada fuente de inyección, con la siguiente información:

- Identificativo ID del nudo
- Tipo de fuente (**CONCEN**, **MASS**, **SETPOINT**, o **FLOWPACED**)
- Intensidad base de la fuente
- Identificativo ID de la curva de modulación de la intensidad de la fuente (opcional)

### Notas:

- Para el tipo de fuente **MASS**, la intensidad se mide en caudal másico por minuto. En todos los demás tipos de fuentes, la intensidad se mide en unidades de concentración.
- La intensidad de la fuente puede hacerse variar con el tiempo, especificando el identificativo de una curva de modulación.
- Una fuente de tipo **CONCEN**:
  - especifica la concentración de cualquier caudal externo que entre por el nudo
  - se aplica únicamente a los nudos que presentan una demanda neta negativa (esto es, a nudos por los que entra el agua en la red)
  - si el nudo es de caudal, la concentración resultante en el nudo será el producto de mezclar el flujo externo entrante al mismo, con el aporte al nudo desde otros nudos de la red
  - si el nudo es un embalse, la concentración mostrada en los resultados para dicho nudo será igual a la concentración de la fuente
  - si el nudo es un depósito, la concentración mostrada en los resultados se corresponderá con la concentración interna del depósito.
  - este tipo de fuente se utiliza fundamentalmente para nudos que representan un punto de suministro de agua o una planta de tratamiento (p.ej. embalses, o nudos con una demanda asignada negativa)
  - no debe utilizarse para depósitos de cabecera con entrada y salida simultánea del flujo.
- Una fuente de tipo **MASS**, **SETPOINT**, ó **FLOWPACED**:
  - representa una fuente de reinyección de una determinada sustancia, la cual se introduce directamente a la red con independencia de la demanda en el nudo
  - afecta básicamente a la calidad del agua que abandona el nudo de inyección, con dirección a otros nudos de la red. En función del tipo de fuente cabe realizar las siguientes matizaciones:
    - una reinyección de tipo **MASS** añade un caudal másico determinado de sustancia al caudal resultante de la mezcla de todos los flujos que llegan al nudo
    - una reinyección de tipo **SETPOINT** fija en un valor determinado la concentración de cualquier flujo que abandona el nudo (siempre y cuando la concentración que resulte de la mezcla de los flujos que llegan al nudo sea menor que la concentración de consigna)
    - una reinyección **FLOWPACED** incrementa la concentración en el nudo, resultante de la mezcla de todos los flujos que llegan a él, en una cantidad determinada.

- la concentración mostrada en los resultados para una fuente de reinyección en un nudo o en un embalse, es la que resulta tras la reinyección de la sustancia; la concentración mostrada en los resultados para un depósito con una fuente de reinyección, es la concentración interna del depósito
  - este tipo de fuentes se adaptan mejor para modelizar la inyección directa en la red de un trazador o un desinfectante, o para modelizar la intrusión de un contaminante.
- e. La sección [SOURCES] no es requerida para llevar a cabo la simulación del tiempo de permanencia del agua en la red o un análisis de procedencias.

**Ejemplo:**

```
[SOURCES]
;Nudo Tipo Intensidad Modulac.
;-----
N1 CONCEN 1.2 Mod1 ;La concentración varía con el tiempo
N44 MASS 12 ;El caudal másico de inyección es constante
```





## [STATUS]

### Propósito:

Definir el estado inicial de determinadas líneas, al comienzo de la simulación.

### Formato:

Una línea por cada línea del modelo controlada, conteniendo la siguiente información:

- Identificativo ID de la línea
- Estado o consigna

### Notas:

- El estado por defecto de las líneas no listadas en esta sección es **OPEN** (abierto, para tuberías y bombas) ó **ACTIVE** (activo, para válvulas).
- Las opciones para el estado de un componente son **OPEN** (abierto) ó **CLOSED** (cerrado). Para las válvula de control (p.ej. VRPs ó VCQs) ello significa que se encuentran totalmente abiertas o cerradas, y por consiguiente no actúan conforme a su consigna.
- El valor de la consigna puede ser la velocidad de giro para una bomba o la consigna propiamente dicha para una válvula.
- El estado inicial de las tuberías puede fijarse también en la sección [PIPES].
- Las válvulas de retención no admiten fijar su estado inicial.
- Utilizar las secciones [CONTROLS] ó [RULES] para cambiar el estado o la consigna de un elemento en algún momento posterior de la simulación.
- Si una válvula cuyo estado es **CLOSED** ó **OPEN** se fija de nuevo como **ACTIVE**, su presión o caudal de consigna debe especificarse en la ley de control o la regla que la reactiva.

### Ejemplo:

```
[STATUS]
; Línea   Estado/Consigna
;-----
L22      CLOSED           ;La línea L22 está inicialmente cerrada
P14      1.5              ;La velocidad de giro de la bomba P14 se fija
                        ;inicialmente en 1,5 su velocidad nominal
PRV1     OPEN             ;La válvula PRV1 está forzosamente abierta
                        ;(en lugar de operar normalmente)
```

## [TAGS]

**Propósito:**

Asociar etiquetas a los nudos y líneas, para permitir su clasificación.

**Formato:**

Una línea por cada nudo o línea que lleve asociada una etiqueta, con la siguiente información:

- la palabra clave NODE ó LINK
- el identificativo ID del nudo o línea
- el texto de la etiqueta (sin espacios)

**Notas:**

- a. Las etiquetas son útiles para agrupar los nudos pertenecientes a diferentes zonas de presión de la red, o para clasificar las tuberías por su material o edad.
- b. Si la etiqueta de un nudo o línea no está declarada en esta sección, se supone que ésta es un blanco.
- c. La sección [TAGS] es opcional, y no tiene ningún efecto sobre los cálculos hidráulicos o de calidad del agua.

**Ejemplo:**

```
[TAGS]
;Objeto ID      Etiqueta
;-----
NODE      1001   Zona_A
NODE      1002   Zona_A
NODE           45   Zona_B
LINK       201   UNCI-1960
LINK       202   PVC-1985
```



## [TANKS]

### Propósito:

Definir todos los depósitos existentes en la red.

### Formato:

Una línea por cada depósito, con la siguiente información:

- Identificativo ID
- Cota de Solera, en pies (m)
- Nivel Inicial del agua, en pies (m)
- Nivel Mínimo del agua, en pies (m)
- Nivel Máximo del agua, en pies (m)
- Diámetro Nominal, en pies (m)
- Volumen Mínimo, en pies cúbicos (metros cúbicos)
- Identificativo ID de la Curva de Cubicación (opcional)

### Notas:

- La Altura de la superficie libre del agua en un depósito es igual a la suma del nivel más la cota de solera.
- Los depósitos no cilíndricos pueden modelizarse especificando una curva de cubicación en la sección [CURVES], que relacione el volumen almacenado con el nivel del agua.
- Si se proporciona una curva de cubicación, el diámetro puede tomar cualquier valor no nulo
- El volumen mínimo (volumen del depósito correspondiente al nivel mínimo) puede ser cero para un depósito cilíndrico. Si se especifica una curva de cubicación, queda definido por ésta.
- Una red debe contener al menos un depósito o un embalse.

### Ejemplo:

```
[TANKS]
;ID   Cota  NivInic  NivMin  NivMax  Diam  VolMin  CurvaCub
;-----
;Depósito Cilíndrico
T1    100    15      5      25     120    0
;Depósito No-Cilíndrico de diámetro variable
T2    100    15      5      25      1     0      VC1
```

## [TIMES]

### Propósito:

Definir los distintos parámetros relacionados con el tiempo, que controlan el desarrollo de la simulación.

### Formatos:

<b>DURATION</b>	Valor (unidades)
<b>HYDRAULIC TIMESTEP</b>	Valor (unidades)
<b>QUALITY TIMESTEP</b>	Valor (unidades)
<b>RULE TIMESTEP</b>	Valor (unidades)
<b>PATTERN TIMESTEP</b>	Valor (unidades)
<b>PATTERN START</b>	Valor (unidades)
<b>REPORT TIMESTEP</b>	Valor (unidades)
<b>REPORT START</b>	Valor (unidades)
<b>START CLOCKTIME</b>	Valor (AM/PM)
<b>STATISTIC</b>	<b>NONE/AVERAGE/ MINIMUM/MAXIMUM RANGE</b>

### Definiciones:

**DURATION** es la duración total de la simulación. Un valor 0 significa ejecutar un régimen permanente o calcular tan solo el instante actual. El valor por defecto es 0.

**HYDRAULIC TIMESTEP** establece el intervalo de tiempo entre dos instantes de cálculo consecutivos. Si es mayor que el intervalo especificado en los epígrafes **PATTERN** o **REPORT**, se reducirá automáticamente para igualarse con el menor de ellos. El valor por defecto es 1 hora.

**QUALITY TIMESTEP** es el intervalo de tiempo utilizado para realizar el seguimiento de los cambios que afectan a la calidad del agua en la red, a lo largo de una simulación. El valor por defecto es 1/10 del intervalo entre dos instantes de cálculo.

**RULE TIMESTEP** es el intervalo de tiempo utilizado para comprobar posibles cambios en el estado de algún componente, debido a la activación de alguna ley de control basada en reglas, durante el periodo comprendido entre dos instantes de cálculo consecutivos. El valor por defecto es 1/10 del intervalo de cálculo.

**PATTERN TIMESTEP** es el intervalo de tiempo entre dos periodos consecutivos de una curva de modulación, y se considera el mismo para todas ellas. El valor por defecto es 1 hora.

**PATTERN START** es el periodo de tiempo inhábil, a partir del cual comenzarán a aplicarse las curvas de modulación. Por ejemplo, un valor de 6 horas significa que la simulación arrancará con los factores de la curva de modulación correspondientes a la hora 6. El valor por defecto es 0.

**REPORT TIMESTEP** establece el intervalo de tiempo con que se mostrarán los resultados. El valor por defecto es 1 hora.

**REPORT START** es el lapso de tiempo, a partir del cual comenzarán a presentarse los resultados. El valor por defecto es 0.



**START CLOCKTIME** es la hora del día que se corresponde con el comienzo de la simulación (p.ej. 3:00 PM). El valor por defecto son las 12:00 AM, esto es, medianoche.

**STATISTIC** determina qué tipo de post-procesamiento estadístico debe efectuarse sobre las series de datos temporales obtenidos durante la simulación. La opción **AVERAGE** reporta los resultados promediados en el tiempo; la opción **MINIMUM** reporta sólo los valores mínimos; la opción **MAXIMUM** reporta los valores máximos; y la opción **RANGE** reporta la diferencia entre los valores máximos y mínimos. Finalmente, la opción **NONE** reporta los resultados completos para todos los instantes, todos los nudos y líneas, y todas las magnitudes asociadas. Es la opción por defecto.

#### Notas:

- La unidades empleadas para expresar cualquiera de los parámetros temporales pueden ser **SECONDS (SEC)**(segundos), **MINUTES (MIN)** (minutos), **HOURS** (horas), ó **DAYS** (días). La opción por defecto es horas.
- Si no se indican las unidades, los valores del tiempo pueden introducirse como horas decimales o bien en notación horas:minutos.
- Todas las instrucciones de la sección [TIMES] son opcionales. Las palabras separadas por una barra inclinada (/) indican alternativas posibles.

#### Ejemplo:

```
[TIMES]
DURATION          240 HOURS
QUALITY TIMESTEP  3 MIN
REPORT START      120
STATISTIC         AVERAGE
START CLOCKTIME   6:00 AM
```

## [TITLE]

### **Propósito:**

Asociar un título descriptivo a la red objeto de análisis

### **Formato:**

Cualquier número de líneas de texto.

### **Notas:**

La sección [TITLE] es opcional.



## [VALVES]

### Propósito:

Definir las características de todas las válvulas existentes en la red.

### Formato:

Una línea por cada válvula, con la siguiente información:

- Identificativo ID de la válvula
- Identificativo ID del nudo aguas arriba
- Identificativo ID del nudo aguas abajo
- Diámetro, en pulgadas (mm)
- Tipo de válvula
- Consigna de la válvula
- Coeficiente de pérdidas menores

### Notas:

- a. Los tipos de válvulas contemplados, y sus consignas asociadas, son las siguientes:

<u>Tipo de Válvula</u>	<u>Consigna</u>
PRV (válvula reductora de presión)	Presión aguas abajo, en psi (m)
PSV (válvula sostenedora de presión)	Presión aguas arriba, en psi (m)
PBV (válvula de rotura de carga)	Caída de presión, en psi (m)
FCV (válvula de control del caudal)	Caudal de paso (en unidades de caudal)
TCV (válvula de regulación)	Coeficiente de Pérdidas (adimensional)
GPV (válvula de propósito general)	Identif. ID de la curva de pérdidas

- b. Las válvulas de corte y de retención son consideradas como parte de una tubería, y no como un componente diferenciado (ver la sección [PIPES])

## [VERTICES]

**Propósito:**

Identificar los vértices interiores que definen el trazado de las líneas.

**Formato:**

Una línea por cada uno de los vértices pertenecientes a alguna línea del modelo, con la siguiente información:

- Identificativo ID de la línea
- Coordenada X
- Coordenada Y

**Notas:**

- La vértices permiten dibujar las líneas del modelo como polilíneas, en lugar de tramos rectos que unen los nudos extremos.
- Las coordenadas de los vértices se deben expresar en el mismo sistema de referencia utilizado para expresar las coordenadas de los nudos y rótulos.
- La sección [VERTICES] es opcional, y no se utiliza cuando se ejecuta EPANET en modo comando.

**Ejemplo:**

```
[VERTICES]
;Vértice   Coord X   Coord Y
;-----
  1         10042   110
  2         10051   105
```





### C.3 Formato del Fichero de Informe de Resultados

Las instrucciones introducidas en la sección [REPORT] del fichero de entrada controlan el contenido del Fichero de Informe de Resultados generado al ejecutar EPANET en modo comando. Un extracto del informe de resultados generado con el fichero de entrada de la Figura C.1 se muestra en la Figura C.2. En términos generales, un informe de resultados contiene las siguientes secciones:

- Sección de Estados
- Sección de Energías
- Sección de Nudos
- Sección de Líneas

#### Sección de Estados

La Sección de Estados del informe de resultados lista el estado inicial de todos los embalses, depósitos, bombas y válvulas, las tuberías inicialmente cerradas, así como todos los cambios de estado habidos en dichos componentes durante el transcurso de la simulación. El estado de los embalses y depósitos nos informa sobre si éstos se están llenando o vaciando. El estado de las líneas indica si éstas se encuentran abiertas o cerradas, e incluye también la velocidad relativa fijada para las bombas y las consignas de presión/caudal impuestas para las válvulas. Para incluir una Sección de Estados en el informe de resultados, incorporar la instrucción **STATUS YES** en la sección [REPORT] del fichero de entrada.

Si en su lugar se incluye la instrucción **STATUS FULL** se generará, además, un listado completo con los resultados del proceso de convergencia para todas las iteraciones realizadas en cada intervalo de cálculo durante la simulación. En dicho listado se indica también qué componentes cambian de estado durante las iteraciones. Este nivel de detalle es útil sólo cuando se quiere depurar una simulación que no llega a converger debido el cambio cíclico de estado de algún componente.

#### Sección de Energías

La Sección de Energías del informe de resultados lista los consumos energéticos globales y los costes asociados de cada una de las bombas de la red. Los datos listados para cada bomba son:

- Porcentaje de Utilización (tanto por ciento del tiempo de simulación que la bomba está en marcha)
- Rendimiento Medio
- Kilovatios-hora consumidos por millón de galones (o por metro cúbico) bombeado
- Potencia Media absorbida
- Potencia Punta utilizada
- Coste medio diario

También se incluye en el listado el coste total diario de bombeo y el coste por utilización de la potencia (basado en la potencia punta<sup>25</sup>). Para incorporar la Sección de Energías en el informe de resultados hay que incluir la instrucción **ENERGY YES** en la sección [REPORT] del fichero de entrada.

---

<sup>25</sup> Como ya se indicó anteriormente, la forma de valorar el término de potencia difiere en cada país.

```

*****
*                               E P A N E T                               *
*           Análisis Hidráulico y de la Calidad del Agua                 *
*           en Redes de Distribución de Agua                             *
*                               Versión 2.0                               *
*****

GUIA RÁPIDA DE EPANET

    Fichero de Datos de Entrada ..... tutorial_es.inp
    Número de Nudos de Caudal..... 6
    Número de Embalses..... 1
    Número de Depósitos ..... 1
    Número de Tuberías ..... 8
    Número de Bombas ..... 1
    Número de Válvulas ..... 0
    Fórmula de Pérdidas de Carga ..... Hazen-Williams
    Intervalo de Cálculo Hidráulico ... 1.00 hr
    Precisión del Cálculo Hidráulico .. 0.001000
    Número Máximo de Iteraciones ..... 40
    Tipo de Análisis de Calidad ..... Cloro
    Intervalo Tiempo Modelo Calidad ... 5.00 min
    Tolerancia Modelo Calidad ..... 0.01 mg/L
    Peso Específico relativo ..... 1.00
    Viscosidad Cinemática relativa .... 1.00
    Coef. Difusión rel. Contaminante .. 1.00
    Factor de Demanda ..... 1.00
    Periodo de Simulación ..... 24.00 hr
    Criterio Selección para Informe:
        Todos los Nudos
        Todas las Líneas

Consumos Energéticos:
-----
Bombas      Factor  Rendim.  kWh/    Pot.Media  Pot.Punta  Coste
            Utiliz  Medio    Mgal    Kw          Kw         /día
-----
9           100.00  75.00    591.12   23.05      23.19      0.00
-----
                                Término Potencia:  0.00
                                Coste total:      0.00
    
```

**Figura C.2** Extracto de un Fichero de Informe de Resultados (continúa en la página siguiente)



Resultados en los Nudos a las 0:00 hr:					
Nudo	Demanda gpm	Altura ft	Presión psi	Cloro mg/L	
2	0.00	847.05	63.72	0.00	
3	75.00	844.67	58.35	0.00	
4	75.00	839.69	60.53	0.00	
5	100.00	836.83	80.95	0.00	
6	75.00	839.47	60.43	0.00	
7	0.00	841.19	61.18	0.00	
1	-617.42	700.00	0.00	1.00	Embalse
8	292.42	834.00	1.73	0.00	Depósito

Resultados en las Líneas a las 0:00 hr:				
Línea	Caudal gpm	Velocidad ft/s	Pérd.Unit /1000ft	Estado
1	617.42	1.29	0.80	Abierta
2	382.51	1.09	0.69	Abierta
3	159.91	1.02	1.00	Abierta
4	29.34	0.19	0.04	Abierta
5	-90.09	0.57	0.34	Abierta
6	292.42	1.19	1.03	Abierta
7	55.58	0.63	0.57	Abierta
8	-44.42	0.50	0.38	Abierta
9	617.42	0.00	-147.05	Abierta Bomba

Resultados en los Nudos a las 1:00 hr:					
Nudo	Demanda gpm	Altura ft	Presión psi	Cloro mg/L	
2	0.00	847.65	63.98	1.00	
3	75.00	845.29	58.62	0.97	
4	75.00	840.33	60.81	0.00	
5	100.00	837.48	81.24	0.00	
6	75.00	840.12	60.72	0.00	
7	0.00	841.86	61.47	0.00	
1	-613.94	700.00	0.00	1.00	Embalse
8	288.94	834.83	2.09	0.00	Depósito

Resultados en las Líneas a las 1:00 hr:				
Línea	Caudal gpm	Velocidad ft/s	Pérd.Unit /1000ft	Estado
1	613.94	1.28	0.79	Abierta
2	379.50	1.08	0.68	Abierta
3	159.44	1.02	0.99	Abierta
4	28.89	0.18	0.04	Abierta
5	-90.56	0.58	0.35	Abierta
6	288.94	1.18	1.00	Abierta
7	55.55	0.63	0.57	Abierta
8	-44.45	0.50	0.38	Abierta
9	613.94	0.00	-147.65	Abierta Bomba

Figura C.2 Extracto de un Fichero de Informe de Resultados (viene de la página anterior)

## Sección de Nudos

La Sección de Nudos del informe de resultados lista los resultados de la simulación para todos los nudos y parámetros identificados en la sección [REPORT] del fichero de entrada. Los resultados se imprimen para cada instante de la simulación fijado por el intervalo de resultados. El intervalo de resultados (**REPORT TIMESTEP**) se especifica en la sección [TIMES] del fichero de entrada. Los resultados en los instantes intermedios en que puedan darse algunos cambios como el arranque o paro de una bomba, o el cierre o apertura de un depósito que alcanza un nivel límite, no serán reportados.

Para reportar los resultados en los nudos, en la sección [REPORT] del fichero de entrada debe aparecer la palabra clave **NODES** seguida por una lista de los identificativos ID de los nudos a incluir en el informe. Pueden declararse varias líneas de **NODES** en el fichero. Para reportar los resultados en todos los nudos, utilizar la instrucción **NODES ALL**.

El conjunto de magnitudes a reportar por defecto para los nudos son la Demanda, la Altura, la Presión y la Calidad del Agua. Se puede especificar el número de decimales a mostrar para cada magnitud incluyendo en la misma sección [REPORT] instrucciones del tipo **PRESSURE PRECISION 3** (utilizar 3 decimales para imprimir las presiones). La precisión por defecto para todas las magnitudes son 2 decimales. Se puede también filtrar el contenido del informe para mostrar sólo los nudos o líneas en los cuales una determinada magnitud se encuentra por encima o por debajo de un cierto valor, añadiendo en la sección [REPORT] instrucciones del tipo **PRESSURE BELOW 20**.

## Sección de Líneas

La Sección de Líneas del informe de resultados lista los resultados de la simulación para aquellas líneas y parámetros identificados en la sección [REPORT] del fichero de entrada. El intervalo para mostrar los resultados sigue las mismas pautas descritas para los nudos en el epígrafe anterior.

Al igual que con los nudos, para reportar los resultados en las líneas debe incluirse en la sección [REPORT] del fichero de entrada la palabra clave **LINKS**, seguida por una lista de los identificativos ID de las líneas a mostrar. Para mostrar todas las líneas utilizar la instrucción **LINKS ALL**.

Las magnitudes por defecto a mostrar en las líneas son el Caudal, la Velocidad, y la Pérdida Unitaria. Se pueden también incorporar el Diámetro, la Longitud, la Calidad del Agua, el Estado, la Consigna, el Coef. de Reacción y el Factor de Fricción, añadiendo instrucciones del tipo **DIAMETER YES** ó **DIAMETER PRECISION 0**. Las mismas convenciones utilizadas con los nudos para especificar el número de decimales de una magnitud o para filtrar los resultados por su valor, son aplicables igualmente a las líneas.

## C.4 Formato del Fichero de Salida Binario

Si se especifica un tercer fichero en la línea de comando que lanza EPANET, los resultados correspondientes a todas las magnitudes para todos los nudos y líneas, y en todos los instantes de cálculo, se almacenarán en un dicho fichero, y en un formato binario especial. Este fichero puede utilizarse para el post-procesado de



los resultados. El tipo de datos que se escriben en el fichero son enteros de 4 bytes, números flotantes de 4 bytes o cadenas de longitud fija cuyo tamaño sea un múltiplo de 4 bytes. De esta forma el fichero puede dividirse convenientemente en registros de 4 bytes. El fichero consta de cuatro secciones, del siguiente tamaño en bytes:

<i>Sección</i>	<i>Tamaño en bytes</i>
Preliminar	$852 + 20 * N_{\text{nudos}} + 36 * N_{\text{líneas}} + 8 * N_{\text{depósitos}}$
Consumos Energéticos	$28 * N_{\text{bombas}} + 4$
Resultados de la Simulación	$(16 * N_{\text{nudos}} + 32 * N_{\text{líneas}}) * N_{\text{periodos}}$
Epílogo	28

donde

$N_{\text{nudos}}$	=	número de nudos (de caudal + embalses + depósitos)
$N_{\text{líneas}}$	=	número de líneas (tuberías + bombas + válvulas)
$N_{\text{depósitos}}$	=	número de embalses y depósitos
$N_{\text{bombas}}$	=	número de bombas
$N_{\text{periodos}}$	=	número de periodos con resultados

El valor de todos estos contadores queda registrado igualmente en las secciones Preliminar y Epílogo del fichero.

### Sección Preliminar

La sección Preliminar del Fichero Binario de Salida contiene los siguientes datos:

<b>Dato</b>	<b>Tipo</b>	<b>Número de Bytes</b>
Número Mágico (= 516114521)	Entero	4
Versión (= 200)	Entero	4
Número de Nudos (de Caudal + Embalses + Depósitos)	Entero	4
Número de Embalses y Depósitos	Entero	4
Número de Líneas (Tuberías + Bombas + Válvulas)	Entero	4
Número de Bombas	Entero	4
Número de Válvulas	Entero	4
Tipo Modelo de Calidad 0 = ninguno 1 = contaminante 2 = tiempo permanencia 3 = procedencia	Entero	4
Índice Nudo de Procedencia	Entero	4
Unidades de Caudal 0 = cfs (pies cúbicos por segundo) 1 = gpm (galones por minuto) 2 = mgd (megagalones por día) 3 = mgd Imperiales 4 = acre-ft/día (acres-pies/día) 5 = litros/segundo 6 = litros/minuto 7 = megalitros/día 8 = metros cúbicos/hora 9 = metros cúbicos/ día	Entero	4

Unidades de presión 0 = psi (libra/ pulgada cuadrada) 1 = metros 2 = kPa (1 kPa = 0,0102 Kg/cm <sup>2</sup> )	Entero	4
Tipo de Estadística 0 = no procesar ninguna estadística 1 = valor medio de los resultados 2 = mostrar sólo valores mínimos 3 = mostrar sólo valores máximos 4 = mostrar sólo los rangos	Entero	4
Instante Inicio Resultados (segundos)	Entero	4
Intervalo de Resultados (segundos)	Entero	4
Periodo de Simulación (segundos)	Entero	4
Título del Proyecto (1ª línea)	Carácter	80
Título del Proyecto (2ª línea)	Carácter	80
Título del Proyecto (3ª línea)	Carácter	80
Nombre del Fichero de Entrada	Carácter	260
Nombre del Fichero de Informe	Carácter	260
Nombre del Contaminante	Carácter	16
Unidades de Concentración Contam.	Carácter	16
Identificativo ID de cada Nudo	Carácter	16*Nnudos
Identificativo ID de cada Línea	Carácter	16*Nlíneas
Índice del Nudo Inicial de cada Línea	Entero	4*Nlíneas
Índice del Nudo Final de cada Línea	Entero	4*Nlíneas
Tipo de Línea 0 = Tubería con VR 1 = Tubería 2 = Bomba 3 = VRP 4 = VSP 5 = VRC 6 = VCQ 7 = VRG 8 = VPG	Entero	4*Nlíneas
Índice del Nudo de cada Depósito	Entero	4*Ndepósitos
Sección Transversal de cada Depósito	Flotante	4*Ndepositos
Cota de cada Nudo	Flotante	4*Nnudos
Longitud de cada Línea	Flotante	4*Nlíneas
Diámetro de cada Línea	Flotante	4*Nlíneas

Existe una correspondencia uno a uno entre el orden en que los identificativos ID de nudos y líneas se escriben en el fichero y el índice interno de estos componentes. Además, los embalses se distinguen de los depósitos en que su sección transversal aparece como cero.

### Sección de Consumos Energéticos

La sección de Consumos Energéticos del Fichero Binario de Salida sigue inmediatamente a la sección Preliminar. Contiene los siguientes datos:



Dato	Tipo	Número de Bytes
Para cada bomba:		
▪ Índice de la Bomba en la Lista de Líneas	Flotante	4
▪ Utilización de la Bomba (%)	Flotante	4
▪ Rendimiento Medio (%)	Flotante	4
▪ Kilovatios-hora/Millón Galones (/Metro <sup>3</sup> )	Flotante	4
▪ Potencia Media	Flotante	4
▪ Potencia Punta	Flotante	4
▪ Coste Medio diario	Flotante	4
Potencia Punta Global	Flotante	4

La estadísticas mostradas en esta sección hacen referencia al periodo de tiempo entre el instante en que se comienzan a mostrar los resultados y el instante final de la simulación.

### Sección de Resultados de la Simulación

La sección de Resultados de la Simulación del Fichero Binario de Salida contiene los resultados de la simulación para cada periodo de cálculo solicitado (el instante en que se inician a mostrar los resultados y el intervalo de tiempo entre resultados figuran en la sección Preliminar del Fichero de Salida; además, el número de instantes reportados figura en la sección Epílogo). Para cada instante en que se reportan los resultados, se escriben los siguientes valores en el fichero:

Dato	Tipo	Tamaño en Bytes
Demanda en cada Nudo	Flotante	4*Nnudos
Altura Piezométrica en cada Nudo	Flotante	4*Nnudos
Presión en cada Nudo	Flotante	4*Nnudos
Calidad del Agua en cada Nudo	Flotante	4*Nnudos
Caudal en cada Línea (negativo si el flujo es inverso)	Flotante	4*Nlíneas
Velocidad en cada Línea	Flotante	4*Nlíneas
Pérdida de carga por cada 1000 unidades de longitud, en cada Línea (Incremento de Altura –negativo- si es una Bomba, o Pérdida Total si es una Válvula)	Flotante	4*Nlíneas
Calidad Media del Agua en cada Línea	Flotante	4*Nlíneas
Estado de cada Línea 0 = cerrada (se ha excedido la altura máxima) 1 = temporalmente cerrada 2 = cerrada 3 = abierta 4 = activa (parcialmente abierta) 5 = abierta (se ha excedido el máximo caudal) 6 = abierta (no se cumple la consigna caudal) 7 = abierta (no se cumple la consigna presión)	Flotante	4*Nlíneas
Consigna para cada Línea: Coeficiente de Rugosidad para las Tuberías Velocidad para las Bombas Consigna para las Válvulas	Flotante	4*Nlíneas
Coef. Reacción para cada Línea (masa/l/día)	Flotante	4*Nlíneas
Factor de Fricción para cada Línea	Flotante	4*Nlíneas

## Sección Epílogo

La sección Epílogo del Fichero Binario de Salida contiene los siguientes datos:

<b>Dato</b>	<b>Tipo</b>	<b>Número de Bytes</b>
Coef. Medio de Reacción en el Medio (masa/h)	Flotante	4
Coef. Medio de Reacción en la Pared (masa/h)	Flotante	4
Coef. Medio de Reacción en Depósitos (masa/h)	Flotante	4
Caudal Másico Medio de Contaminante inyectado a la red (masa/h)	Flotante	4
Número de Instantes Reportados	Entero	4
Indicador de Advertencias: 0 = ninguna advertencia 1 = se emitieron advertencias	Entero	4
Número Mágico (= 516114521)	Entero	4

Las unidades de masa utilizadas para expresar las velocidades de reacción, tanto aquí como en la sección de Resultados de la Simulación, dependen de las unidades de concentración asociadas con la sustancia a modelizar. Las velocidades de reacción listadas en esta sección corresponden a la media de las velocidades mostradas para todas las tuberías (o todos los depósitos), a lo largo de todo el periodo de simulación.



## APÉNDICE D - ALGORITMOS DE CÁLCULO

---

### D.1 Análisis Hidráulico

El método que emplea EPANET para resolver simultáneamente las ecuaciones de continuidad en los nudos y las ecuaciones de comportamiento hidráulico de las tuberías, para un instante dado, puede clasificarse como un método híbrido de nudos y mallas. Todini y Pilati (1987), y más tarde Salgado et al. (1988) decidieron llamarlo "Método del Gradiente". Métodos similares fueron propuestos anteriormente por Hamam y Brameller (1971) (el "Método Híbrido") y por Osiadacz (1987) (el "Método de Newton para Nudos y Mallas"). La única diferencia entre estos métodos es la forma en que se actualizan los caudales de línea, después de haber encontrado una nueva solución provisional para las alturas en los nudos. Dado que la aproximación de Todini es la más simple, ésta fue la elegida para desarrollar EPANET.

Supongamos que tenemos una red de tuberías con  $N$  nudos de caudal y  $NF$  nudos de altura dada (embalses y depósitos). La relación entre la pérdida de carga para una tubería que va del nudo  $i$  al  $j$ , y el caudal de paso  $Q_{ij}$ , puede escribirse como:

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad \text{D.1}$$

donde  $H$  = altura piezométrica en el nudo,  $h$  = pérdida de carga,  $r$  = coeficiente de resistencia,  $Q$  = caudal,  $n$  = exponente del caudal, y  $m$  = coeficiente de pérdidas menores. El valor del coeficiente de resistencia depende de la fórmula utilizada para el cálculo de las pérdidas (ver más adelante). Para las bombas, la pérdida (esto es, la altura de la bomba cambiada de signo), puede representarse mediante una fórmula potencial del tipo:

$$h_{ij} = -\omega^2 (h_0 - r (Q_{ij} / \omega)^n)$$

donde  $h_0$  es la altura a caudal nulo,  $\omega$  es la velocidad relativa de giro, y  $r$  y  $n$  son coeficientes de la curva de la bomba.

El segundo sistema de ecuaciones a cumplir está configurado por la condición de equilibrio para los caudales en todos los nudos:

$$\sum_j Q_{ij} - D_i = 0 \quad \text{para } i = 1, \dots, N \quad \text{D.2}$$

donde  $D_i$  es el caudal de demanda en el nudo  $i$ , el cual por convención se toma como positivo cuando entra al nudo. Dados los valores de las alturas en los nudos de altura prefijada, se trata de encontrar una solución para las alturas  $H_i$  en los restantes nudos, y para los caudales  $Q_{ij}$  de todas las líneas, que satisfagan las ecuaciones (D.1) y (D.2).

El método de resolución del Gradiente comienza haciendo una estimación inicial del caudal por cada tubería, sin necesidad de cumplir la ecuación de continuidad. En cada iteración del método, se obtienen las alturas piezométricas en los nudos resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$\mathbf{AH} = \mathbf{F} \quad \text{D.3}$$

donde  $\mathbf{A}$  = matriz Jacobiana (NxN),  $\mathbf{H}$  = vector de incógnitas nodales (Nx1), y  $\mathbf{F}$  = vector de términos independientes (Nx1)

Los elementos de la diagonal principal de la matriz jacobiana vienen dados por:

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij}$$

y los elementos no nulos fuera de la diagonal principal, por:

$$A_{ij} = -p_{ij}$$

donde  $p_{ij}$  es la inversa de la derivada respecto al caudal, de la pérdida de carga en la línea que va del nudo  $i$  al  $j$ . Su expresión para las tuberías es:

$$p_{ij} = \frac{1}{nr|Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|}$$

y para las bombas:

$$p_{ij} = \frac{1}{n\mathbf{w}^2 r(Q_{ij}/\mathbf{w})^{n-1}}$$

Los términos independientes están constituidos por el caudal residual en el nudo no equilibrado, más un factor de corrección dado por:

$$F_i = \left( \sum_j Q_{ij} - D_i \right) + \sum_j y_{ij} + \sum_f p_{if} H_f$$

donde el último término está presente sólo para las tuberías que conectan el nudo  $i$  con un nudo de altura conocida  $f$ ; por su parte, el factor de corrección del caudal  $y_{ij}$  tiene por expresión:

$$y_{ij} = p_{ij} \left( r|Q_{ij}|^n + m|Q_{ij}|^2 \right) \text{sgn}(Q_{ij})$$

para las tuberías, donde  $\text{sgn}(x)$  es 1 si  $x > 0$  y  $-1$  en otro caso, e:

$$y_{ij} = -p_{ij}\mathbf{w}^2 \left( h_0 - r(Q_{ij}/\mathbf{w})^n \right)$$

para las bombas ( $Q_{ij}$  es siempre positivo en este caso).

Una vez calculadas las nuevas alturas resolviendo las ecuaciones (D.3), los nuevos caudales se obtienen mediante:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - \left( y_{ij} - p_{ij}(H_i - H_j) \right) \quad \text{D.4}$$

Si la suma, extendida a todas las líneas, del valor absoluto de la variación relativa del caudal respecto al caudal total en la línea, es mayor que una cierta tolerancia (p. ej. 0,001), las ecuaciones (D.3) y (D.4) se resuelven de nuevo. Obsérvese que la fórmula de actualización (D.4) conduce al equilibrio de caudales en los nudos, tras la primera iteración.



EPANET implementa este método realizando los siguiente pasos:

1. El sistema de ecuaciones lineales D.3 se resuelve utilizando un método de matrices vacías, basado en la reordenación de los nudos (George y Liu, 1981). Una vez los nudos reordenados al objeto de minimizar el número de coeficientes de relleno en la matriz A, se realiza una factorización simbólica, de modo que sólo los elementos no nulos de A se almacenan en memoria para operar con ellos. A lo largo de una simulación en periodo extendido, la reordenación y factorización de la matriz se efectúa una sola vez, al comienzo del análisis.
2. Para la primera iteración del primer instante de simulación, los caudales en las tuberías se determinan con la condición de que la velocidad de circulación sea de 1 pie/seg. Por su parte, el caudal en las bombas se hace igual al caudal de diseño de la bomba (internamente todos los cálculos se realizan con las alturas en pies y los caudales en  $\text{pies}^3/\text{seg} - \text{cfs}$ )
3. El coeficiente de resistencia de una tubería ( $r$ ) se calcula según se las fórmulas de la Tabla 3.1<sup>26</sup>. En el caso de la ecuación de pérdidas de Darcy-Weisbach, el factor de fricción  $f$  se calcula mediante diferentes ecuaciones, dependiendo del Número de Reynolds ( $Re$ ) del flujo:

Para  $Re < 2000$  se emplea la fórmula de Hagen – Poiseuille (Bhave, 1991):

$$f = \frac{64}{Re}$$

Para  $Re > 4000$  se emplea la aproximación de Swamee y Jain a la ecuación de Colebrook - White (Bhave, 1991):

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{e}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Para  $2000 < Re < 4000$  se emplea una interpolación cúbica al Diagrama de Moody (Dunlop, 1991):

$$f = ( X1 + R( X2 + R( X3 + X4 )))$$

$$R = \frac{Re}{2000}$$

$$X1 = 7FA - FB$$

$$X2 = 0.128 - 17FA + 2.5FB$$

$$X3 = -0.128 + 13FA - 2FB$$

$$X4 = R(0.032 - 3FA + 0.5FB)$$

<sup>26</sup> más bien las indicadas al pie de página, al trabajar internamente con unidades US (NdT)

$$\begin{aligned}
 FA &= (Y3)^{-2} \\
 FB &= FA \left( 2 - \frac{0.00514215}{Y2 \cdot Y3} \right) \\
 Y2 &= \frac{e}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \\
 Y3 &= -0.86859 \ln \left( \frac{e}{3.7d} + \frac{5.74}{4000^{0.9}} \right)
 \end{aligned}$$

donde  $e$  = rugosidad de la tubería, y  $d$  = diámetro de la tubería.

4. El coeficiente de pérdidas menores  $K$ , referido a la altura de velocidad, se transforma en el factor equivalente  $m$  que multiplica al cuadrado del caudal, mediante la siguiente relación:

$$m = \frac{0.02517K}{d^4} \quad (27)$$

5. Los emisores aplicados en los nudos se modelizan como una tubería ficticia entre el nudo y un embalse ficticio. Los parámetros de la tubería ficticia son  $n = (1/\gamma)$ ,  $r = (1/C)^n$ , y  $m = 0$ , donde  $C$  es el coeficiente de descarga del emisor, y  $\gamma$  el exponente de la presión. La altura del embalse ficticio es la propia cota del nudo. El caudal de paso calculado por la tubería ficticia se interpreta como el caudal descargado por el emisor.
6. A las válvulas abiertas se les asigna un valor del coeficiente  $r$  calculado bajo el supuesto de que la válvula actúa como una tubería lisa ( $f = 0.02$ ), cuya longitud es dos veces el diámetro de la válvula. Las líneas cerradas se supone que obedecen a una relación de pérdidas lineal con un factor de resistencia muy grande, p. ej.  $h = 10^8 Q$ , con lo que  $p = 10^8$  e  $y = Q$ . Para las líneas en las cuales  $(r+m)Q < 10^7$ , entonces  $p = 10^7$  e  $y = Q/n$ .
7. En cada instante de cálculo se comprueba, tras cada iteración hasta la décima, el estado de las bombas, válvulas de retención, válvulas de control del caudal y tuberías que conectan con depósitos llenos o vacíos. Después de la décima iteración, el estado de estos componentes se vuelve a comprobar de nuevo una vez obtenida la convergencia, excepto para las válvulas de control de la presión (VRP y VSP), cuyo estado se comprueba en todas las iteraciones.
8. Durante la comprobación del estado de los diferentes componentes, las bombas se paran si la altura requerida es superior a su altura a caudal cero (para impedir el flujo inverso). Análogamente, las válvulas de retención se cierran si la pérdida de carga resultante es negativa (ver más adelante). Si más adelante dejan de darse estas circunstancias, dichos elementos vuelven a reactivarse. De forma similar se comprueba el estado de las líneas que conectan con depósitos que poseen limitaciones

<sup>27</sup> En unidades métricas SI el coeficiente numérico sería 0,08262 en vez de 0,02517 (NdT)



de nivel. Dichas líneas se cierran si la diferencia de alturas inducen al vaciado de un depósito que está a su nivel mínimo, o al llenado de un depósito que está a su nivel máximo; y se abren de nuevo al dejar de darse estas circunstancias.

9. La simple comprobación del signo de la pérdida ( $h < 0$ ) para determinar si una válvula de retención (VR) debe estar cerrada o abierta, se observó que en algunas redes daba lugar a un comportamiento cíclico de la válvula entre estos dos estados, debido a los límites de precisión numérica. Finalmente se comprobó que el siguiente procedimiento conducía a un comportamiento más robusto de estas válvulas:

si  $|h| > H_{tol}$  entonces  
    si  $h < -H_{tol}$  entonces estado = Cerrada  
    si  $Q < -Q_{tol}$  entonces estado = Cerrada  
    si no estado = Abierta  
si no  
    si  $Q < -Q_{tol}$  entonces estado = Cerrada  
    si no estado = sin cambios

donde  $H_{tol} = 0,0005$  pies y  $Q_{tol} = 0,001$  pies<sup>3</sup> /seg.

10. Si la verificación del estado de una bomba, tubería o VR conduce a su cierre total, entonces el valor del caudal se fuerza a  $10^{-6}$  pies<sup>3</sup> /seg. Cuando se reactiva de nuevo una bomba, su caudal se determina entrando en su curva característica con la altura actual. Cuando se reabre una tubería o una VR, su caudal se determina resolviendo la ecuación D.1 para la pérdida de carga actual  $h$ , ignorando cualquier pérdida menor.
11. Los coeficientes de la matriz jacobiana correspondientes a las válvulas de rotura de carga (VRC) se fuerzan a los siguientes valores:  $p = 10^8$  e  $y = 10^8 H_{set}$ , donde  $H_{set}$  es la caída impuesta como consigna en la válvula (en pies). Las válvulas de regulación (VRG) son tratadas como tuberías, cuyo coeficiente  $r$  se establece según las hipótesis del epígrafe 6 y cuyo coeficiente  $m$  se obtiene transformando el coeficiente impuesto como consigna en la válvula (ver epígrafe 4).
12. Los coeficientes de la matriz jacobiana correspondientes a las válvulas reductoras, sostenedoras y de control del caudal (VRPs, VSPs y VCQs) se calculan una vez todas las demás líneas han sido analizadas. La comprobación del estado de las VRPs y VSPs se efectúa según se ha descrito en el epígrafe 7. Estas válvulas pueden estar completamente abiertas, completamente cerradas, o bien activas imponiendo las consignas de presión o caudal establecidas.

13. La lógica empleada para comprobar el estado de una VRP es la siguiente:

Si estado actual = Activa entonces

si  $Q < -Q_{tol}$  entonces nuevo estado = Cerrada  
 si  $H_i < H_{set} + H_{ml} - H_{tol}$  entonces nuevo estado = Abierta  
 si no, nuevo estado = Activa

Si estado actual = Abierta entonces

si  $Q < -Q_{tol}$  entonces nuevo estado = Cerrada  
 si  $H_i > H_{set} + H_{ml} + H_{tol}$  entonces nuevo estado = Activa  
 si no, nuevo estado = Abierta

Si estado actual = Cerrada entonces

si  $H_i > H_j + H_{tol}$   
 y  $H_i < H_{set} - H_{tol}$  entonces nuevo estado = Abierta  
 si  $H_i > H_j + H_{tol}$   
 y  $H_j < H_{set} - H_{tol}$  entonces nuevo estado = Activa  
 si no, nuevo estado = Cerrada

donde  $Q$  es el caudal actual a través de la válvula,  $H_i$  es la altura aguas arriba,  $H_j$  la altura aguas abajo,  $H_{set}$  la presión de consigna transformada en altura,  $H_{ml}$  la pérdida menor a válvula abierta ( $= mQ^2$ ), y finalmente  $H_{tol}$  y  $Q_{tol}$  son los mismos valores utilizados para las válvulas de retención, ya vistas en el epígrafe 9. Para las VSP se efectúa una comprobación similar, excepto que en las inecuaciones en que interviene  $H_{set}$ , los subíndices  $i$  y  $j$  aparecen intercambiados, al tiempo que los operadores  $>$  y  $<$ .

14. El caudal que atraviesa una VRP activa es forzado a entrar por el nudo aguas abajo, mientras que el que atraviesa una VSP es obligado a salir del nudo aguas arriba. Para imponer la presión de salida de una VRP que vaya del nudo  $i$  al  $j$ , se hace:

$$\begin{aligned} p_{ij} &= 0 \\ F_j &= F_j + 10^8 H_{set} \\ A_{jj} &= A_{jj} + 10^8 \end{aligned}$$

Con ello se fuerza a la altura en el nudo aguas abajo a tomar el valor de la altura de consigna  $H_{set}$ . Para las VSP se procede de manera análoga, excepto que los subíndices de  $F$  y  $A$  son los correspondientes al nudo aguas arriba  $i$ . Cuando las VRPs o las VSPs están totalmente abiertas o cerradas, sus coeficientes en la matriz son tratados del mismo modo que para las tuberías.

15. Para una válvula VCQ activa que vaya del nudo  $i$  al  $j$ , cuyo caudal de consigna es  $Q_{set}$ , éste es añadido al caudal que sale del nudo  $i$  y al caudal que entra al nudo  $j$ , para lo cual se resta de  $F_i$  y se añade a  $F_j$ . Si la altura en el nudo  $i$  es menor que la del nudo  $j$ , entonces la válvula no puede proporcionar el caudal y es tratada como una tubería abierta.
16. Una vez conseguida inicialmente la convergencia (convergencia de los caudales, sin cambios en las VRPs y VSPs) se realiza una nueva comprobación del estado de las bombas, VRs, VCQs, y líneas conectadas a depósitos. También se comprueba el estado



de las líneas controladas por presión (p. ej. el estado de una bomba controlada por la presión en un nudo). Si hubiera algún cambio, las iteraciones se prolongan durante al menos dos nuevas pasadas (la comprobación de las condiciones de convergencia es omitida para la primera iteración). En caso contrario, la solución se da por buena.

17. Para desarrollar las simulaciones en periodo extendido (EPS), se ha implementado el siguiente procedimiento:

a. Una vez encontrada una solución para el instante actual, el incremento de tiempo adoptado para avanzar hasta el instante siguiente será el mínimo entre:

- el instante en que comienza un nuevo periodo de demanda,
- el menor intervalo de tiempo que hace que se llene o vacíe algún depósito,
- el menor intervalo de tiempo para el cual el nivel en algún depósito alcanza el valor de referencia que provoca el cambio de estado en alguna línea (p. ej. arrancar o parar una bomba), según figura en alguna de las leyes de control simples,
- el próximo instante en que debe actuar alguna de las leyes de control simple reguladas por tiempo.
- el próximo instante en que alguna de las leyes de control basadas en reglas provoque un cambio en la red.

Para calcular el instante en que se alcanza un determinado nivel en un depósito, se supone que éste evoluciona linealmente en base al caudal actual que entra o sale del depósito.

Por su parte, el instante de activación de las leyes de control basadas en reglas, se determina del siguiente modo:

- Comenzando en el instante actual, las distintas reglas se analizan paso a paso, avanzando con un intervalo de tiempo fijo, cuyo valor por defecto es 1/10 del intervalo de cálculo hidráulico (por ejemplo, si el intervalo de cálculo hidráulico es de 1 hora, entonces las reglas se evalúan cada 6 minutos).
- En base a este intervalo de tiempo se actualiza la hora de la simulación, y al mismo tiempo los niveles de agua en los depósitos (tomando como referencia los últimos caudales entrantes o salientes calculados).
- Si en un momento dado se cumple alguna de las reglas, las actuaciones derivadas se añaden a una lista. Si la actuación propuesta entra en conflicto con otra actuación de la lista sobre la misma línea, prevalece aquella que tiene una prioridad más alta, siendo la otra eliminada. Si las prioridades son equivalentes, entonces prevalece la actuación que estaba ya en la lista.

- Después de haber evaluado todas las reglas, si la lista no está vacía se ejecutan todas las actuaciones almacenadas en ella. Si como consecuencia de dichas actuaciones cambia el estado de una o más líneas, se procede a obtener una nueva solución y el proceso de simulación continúa.
  - Si no hay ningún cambio de estado en ninguna línea, se limpia la lista de actuaciones, y se pasa a evaluar las reglas en el siguiente instante, a no ser que se haya alcanzado el próximo intervalo hidráulico.
- b. Una vez determinado el intervalo de avance, se actualiza el tiempo de la simulación, se calculan las nuevas demandas, se ajustan los niveles en los depósitos en base a los últimos caudales calculados, y se verifican las reglas de control para determinar qué líneas deben cambiar su estado.
  - c. Se desencadena un nuevo proceso iterativo para resolver el conjunto de ecuaciones (D.3) y (D.4), partiendo de los caudales actuales.

## D.2 Análisis de la Calidad del Agua

Las ecuaciones que gobiernan el simulador que utiliza EPANET para determinar la calidad del agua, están basadas en el principio de conservación de la masa, acoplado con las cinéticas de reacción. Los fenómenos contemplados en el modelo son los siguientes (Rossman et al., 1993; Rossman y Boulos, 1996):

### Transporte Convectivo en las Tuberías

Una sustancia disuelta en el agua es transportada a lo largo de la tubería con la misma velocidad media que el fluido, y al mismo tiempo reacciona (creciendo o bien decreciendo) a una cierta velocidad de reacción. La dispersión longitudinal de la sustancia no constituye un mecanismo de transporte relevante en la mayoría de condiciones de operación de la red. Ello significa que no hay intercambio de masa entre porciones de agua adyacentes mientras éstas viajan por las tuberías. El transporte convectivo de masa en el interior de una tubería viene caracterizado por la ecuación:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -u_i \frac{\partial C_i}{\partial x} + r(C_i) \quad \text{D.5}$$

donde  $C_i$  = concentración (masa/volumen) en la tubería  $i$ , la cual es función de la distancia  $x$  y del tiempo  $t$ ,  $u_i$  = velocidad del flujo (longitud/tiempo) en la tubería  $i$ , y  $r$  = velocidad de reacción (masa/volumen/tiempo) como una función de la concentración.

### Mezcla en la Confluencia de Tuberías

El proceso de mezcla en los nudos a los cuales llega el caudal procedente de dos o más tuberías, se supone que es completo e instantáneo. Por consiguiente, la concentración de una sustancia en el agua cuando abandona el nudo, es simplemente la suma ponderada respecto a los caudales, de las concentraciones





de todos los flujos que llegan al nudo. Así, para un nudo determinado  $k$  puede escribirse:

$$C_{i|x=0} = \frac{\sum_{j \in I_k} Q_j C_{j|x=L_j} + Q_{k,ext} C_{k,ext}}{\sum_{j \in I_k} Q_j + Q_{k,ext}} \quad D.6$$

donde  $i$  = línea por la que sale caudal del nudo  $k$ ,  $I_k$  = conjunto de líneas que fluyen hacia el nudo  $k$ ,  $L_j$  = longitud de la línea  $j$ ,  $Q_j$  = caudal (volumen/tiempo) de la línea  $j$ ,  $Q_{k,ext}$  = caudal externo que entra a la red por el nudo  $k$ , y  $C_{k,ext}$  = concentración del caudal externo que entra por el nudo  $k$ . La variable  $C_{i|x=0}$  representa la concentración al inicio de la línea  $i$ , mientras que  $C_{i|x=L}$  representa la concentración al final de la misma línea.

### Mezcla en los Depósitos de Regulación

Resulta normalmente adecuado suponer que el agua almacenada en los embalses y depósitos se encuentra totalmente mezclada. Esta hipótesis es razonable para muchos depósitos de regulación que se llenan y vacían periódicamente, supuesto que la cantidad de movimiento del flujo entrante es suficiente (Rossman y Grayman, 1999). Bajo la hipótesis de mezcla completa, la concentración en el depósito será el resultado de combinar la concentración del agua entrante con la del agua almacenada en ese momento en el depósito. Al mismo tiempo, la concentración propia del agua almacenada en el depósito puede cambiar debido a las reacciones internas. La siguiente ecuación tiene en cuenta todos estos fenómenos:

$$\frac{\partial(V_s C_s)}{\partial t} = \sum_{i \in I_s} Q_i C_{i|x=L_i} - \sum_{j \in O_s} Q_j C_s + r(C_s) \quad D.7$$

donde  $V_s$  = volumen almacenado en el depósito en el instante  $t$ ,  $C_s$  = concentración del agua existente en el depósito,  $I_s$  = conjunto de líneas por las que entra agua al depósito, y  $O_s$  = conjunto de líneas por las que sale agua del depósito.

### Reacciones en el seno del agua

Mientras una sustancia se desplaza por el interior de una tubería o permanece en un depósito, puede reaccionar con otros constituyentes del agua. La velocidad de reacción se expresa generalmente como una función potencial de la concentración, según:

$$R = K C^n$$

donde  $k$  = constante de reacción, y  $n$  = orden de la reacción. Cuando existe una concentración límite a la cual tiende el crecimiento o decrecimiento de la sustancia, la velocidad de reacción se expresa como:

$$\begin{aligned} R &= K_b (C_L - C) C^{(n-1)} && \text{para } n > 0, \quad K_b > 0 \\ R &= K_b (C - C_L) C^{(n-1)} && \text{para } n > 0, \quad K_b < 0 \end{aligned}$$

donde  $C_L$  = concentración límite.

Algunos ejemplos típicos de expresiones de la velocidad de reacción son:

- *Decrecimiento Simple de Primer Orden* ( $C_L = 0, K_b < 0, n = 1$ )

$$R = K_b C$$

El decrecimiento de la concentración de muchas sustancias, como el cloro, puede modelarse adecuadamente mediante una reacción simple de primer orden.

- *Crecimiento de Primer Orden hasta la Saturación* ( $C_L > 0, K_b > 0, n = 1$ ):

$$R = K_b (C_L - C)$$

Este modelo puede aplicarse al crecimiento de las sustancias derivadas de la desinfección, tales como los trihalometanos, cuya velocidad de formación está limitada en última instancia por la cantidad presente del reactivo precursor.

- *Decrecimiento de Segundo Orden, en Dos Compartimentos* ( $C_L \neq 0, K_b < 0, n = 2$ ):

$$R = K_b C (C - C_L)$$

Este modelo supone que la sustancia A reacciona con la sustancia B a cierta velocidad desconocida, para dar el producto P. La velocidad con que desaparece A es proporcional al producto de las cantidades actuales de A y B. La concentración límite  $C_L$  puede ser positiva o negativa, dependiendo de que el componente en exceso sea el A o el B respectivamente. Clark (1998) consiguió aplicar con éxito este modelo para justificar una serie de datos referentes al decaimiento del cloro que no se ajustaban a un modelo de primer orden.

- *Cinética de Decrecimiento de Michaelis-Menton* ( $C_L > 0, K_b < 0, n < 0$ ):

$$R = \frac{K_b C}{C_L - C}$$

Como caso especial, cuando se especifica una reacción de orden  $n$  negativo, EPANET utiliza la ecuación de Michaelis-Menton mostrada más arriba para determinar la velocidad de decrecimiento de la sustancia (para reacciones en que la sustancia crece, el denominador debe ser  $C_L + C$ ). Esta velocidad de reacción es utilizada para describir reacciones enzima-catalizador y crecimientos bacterianos. Da lugar a comportamientos similares a los de las reacciones de primer orden para bajas concentraciones y a los de las reacciones de orden cero para altas concentraciones. Obsérvese que para reacciones de decrecimiento,  $C_L$  debe fijarse en un valor más alto que la concentración inicial de la sustancia presente.

Koehling (1998) ha aplicado la cinética de Michaelis-Menton para modelizar el decaimiento del cloro en diferentes tipos de



aguas, y ha encontrado que tanto  $K_b$  como  $C_L$  pueden relacionarse con el contenido de materia orgánica del agua y su absorbancia ultravioleta mediante las siguientes expresiones:

$$K_b = -0.32UVA^{1.365} \frac{(100UVA)}{DOC}$$

$$C_L = 4.98UVA - 1.91DOC$$

donde UVA = absorbancia ultravioleta a 254 nm (1/cm) y DOC = concentración de carbono orgánico disuelto (mg/L).

**Nota: Estas expresiones son aplicables para obtener los valores de  $K_b$  y  $C_L$  a utilizar en una cinética de Michaelis-Menton.**

- *Crecimiento de Orden Cero* ( $C_L = 0$ ,  $K_b = 1$ ,  $n = 0$ )

$$R = 1.0$$

Este caso especial puede utilizarse para modelizar el tiempo de permanencia del agua en la red, en cuyo caso para cada unidad de tiempo la “concentración” (esto es, el tiempo de permanencia) se incrementa en una unidad.

La relación entre la constante de reacción en el seno del agua a una temperatura (T1) y a otra temperatura (T2) se expresa a menudo mediante la ecuación de van't Hoff – Arrhenius, cuya expresión es:

$$K_{b2} = K_{b1} \theta^{T2-T1}$$

donde  $\theta$  representa una constante. Durante una de investigación realizada trabajando con el cloro, se obtuvo para  $\theta$  el valor 1.1, siendo la temperatura T1 de 20° C (Koechling, 1998).

### Reacciones en las Paredes de las Tuberías

Mientras el agua discurre por las tuberías, las sustancias disueltas pueden verse transportadas hasta la pared y reaccionar con materiales como los productos de la corrosión o el biofilm que se desarrolla en la misma la pared o cerca de ella. Tanto la cantidad de superficie sometida a reacción, como la velocidad de transferencia de masa entre la corriente principal y la pared, influyen sobre el valor global de la velocidad de reacción con la pared. El primer factor viene determinado por la superficie expuesta por unidad de volumen, que para una tubería circular es igual a 2 dividido por su radio. El segundo factor puede representarse mediante un coeficiente de transferencia de masa, cuyo valor depende del coeficiente de difusión molecular de las especies reactivas, y del número de Reynolds del flujo (Rossman et. al, 1994). Para cinéticas de primer orden, la velocidad de reacción con la pared puede expresarse como:

$$r = \frac{2k_w k_f C}{R(k_w + k_f)}$$

donde  $k_w$  = constante de reacción en la pared (longitud/tiempo),  $k_f$  = coeficiente de transferencia de masa (longitud/tiempo), y  $R$  = radio de la tubería. Para cinéticas de orden cero, la velocidad de reacción no puede ser superior a la velocidad de transferencia de masa, con lo que:

$$r = \text{MIN}(k_w, k_f C)(2/R)$$

donde  $k_w$  tiene ahora unidades de masa/área/tiempo.

El coeficiente de transferencia de masa se expresa usualmente en función del número adimensional de Sherwood ( $Sh$ ):

$$k_f = Sh \frac{D}{d}$$

en donde  $D$  = coeficiente de difusión molecular de las especies transportadas (longitud<sup>2</sup>/tiempo) y  $d$  = diámetro de la tubería. Para un flujo laminar totalmente desarrollado, el valor medio del número de Sherwood a lo largo de la tubería puede expresarse como:

$$Sh = 3.65 + \frac{0.0668(d/L) Re Sc}{1 + 0.04 [(d/L) Re Sc]^2/3}$$

donde  $Re$  = número de Reynolds y  $Sc$  = número de Schmidt (viscosidad cinemática del agua dividido por el coeficiente de difusión de la sustancia) (Edwards et.al, 1976). Para flujo turbulento puede utilizarse la correlación empírica de Notter y Sleicher (1971):

$$Sh = 0.0149 Re^{0.88} Sc^{1/3}$$

### El Sistema de Ecuaciones

El sistema de ecuaciones D.5 a D.7, cuando se aplican a una red en su conjunto, constituyen un sistema de ecuaciones algebraico-diferenciales, con coeficientes variables en el tiempo, el cual hay que resolver para obtener los valores de  $C_i$  en cada tubería  $i$ , y  $C_s$  en cada depósito  $s$ . La solución del sistema está sujeta al siguiente conjunto de condiciones externas:

- las condiciones iniciales, la cuales fijan los valores de  $C_i$  para todos los segmentos  $x$  de cada tubería  $i$ , y los valores de  $C_s$  en todos los depósitos, para el instante 0,
- las condiciones de contorno, que imponen los valores de  $C_{k,ext}$  y  $Q_{k,ext}$  para todos los instantes  $t$ , en aquellos nudos en los que hay una inyección externa de la sustancia química objeto de estudio.
- las condiciones hidráulicas, que nos determinan los volúmenes  $V_s$  en cada depósito  $s$  y los caudales  $Q_i$  en cada línea  $i$ , para todos los instantes  $t$ .



## El Algoritmo de Transporte Lagrangiano

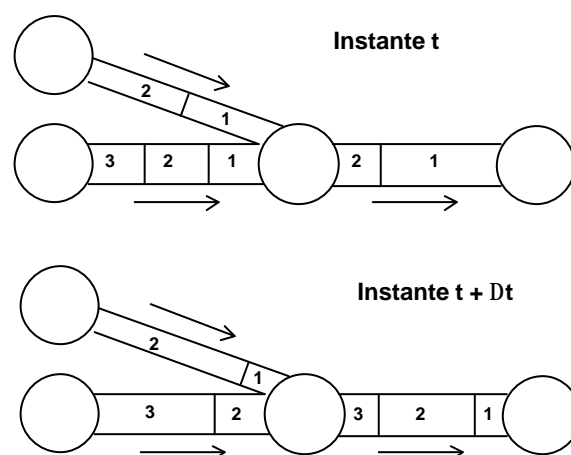
El simulador de calidad de EPANET utiliza un método Lagrangiano para efectuar el seguimiento en el tiempo, a pasos fijos, del destino final de las diferentes porciones de agua en que se discretiza la red, a medida que éstas avanzan a lo largo de las tuberías y se mezclan en los nudos de confluencia (Liou y Kroon, 1987). Los intervalos de tiempo utilizados para ejecutar el modelo de calidad son mucho menores que el intervalo de cálculo hidráulico (p. ej. minutos en lugar de horas) con el fin de acomodar el método a los reducidos tiempos de viaje que pueden resultar para algunas tuberías. Al avanzar el tiempo, el tamaño de los segmentos situados aguas arriba de una tubería se incrementa conforme entra el agua, mientras que una longitud equivalente del segmento situado más abajo se pierde, al abandonar el agua la tubería. Por su parte, el tamaño de los segmentos intermedios se mantiene constante (ver Figura D.1).

El análisis a efectuar al final de cada intervalo de tiempo conlleva los siguientes pasos:

1. Se actualiza la calidad del agua en cada segmento para tener en cuenta cualquier reacción que haya podido ocurrir durante dicho intervalo.
2. El agua de los primeros segmentos de todas las líneas que fluyen hacia cada nudo, se mezcla para calcular el nuevo valor del parámetro de calidad en el nudo. El volumen que aporta cada segmento será el producto del caudal de la tubería por el intervalo de tiempo. Si este volumen es superior al del segmento, éste se destruye y el segmento que le sigue aporta el volumen restante.
3. Se añaden las contribuciones de las fuentes externas para determinar el valor final de la calidad en el nudo. Al mismo tiempo, se actualiza la calidad en los depósitos, según el modelo de mezcla elegido (ver más adelante).
4. Se crean nuevos segmentos en todas las líneas que salen de cada nudo, embalse o depósito. El volumen del segmento creado será igual al producto del caudal en la tubería por el intervalo de tiempo, y su calidad igual a la calculada para el nudo origen.

Al objeto de reducir el número de segmentos, el paso 4 se lleva a cabo únicamente si el nuevo valor de la calidad en el nudo difiere de la del último segmento de las líneas que salen de él en una cantidad superior a la tolerancia establecida por el usuario. Si la diferencia del nuevo valor de calidad es inferior a dicha tolerancia, entonces el tamaño del último segmento de la línea es simplemente incrementado en el volumen aportado a la tubería en el intervalo de tiempo considerado.

Todo este proceso se repite para cada intervalo de tiempo del modelo de calidad. Al comienzo de un nuevo intervalo de cálculo hidráulico, se invierte el orden de los segmentos para aquellas tuberías en las que haya habido un cambio en el sentido del flujo. Inicialmente, cada tubería de la red consta de un único segmento, cuya calidad es igual a la calidad inicial asignada al nudo aguas arriba.



**Figura D.1** Comportamiento de los Segmentos en el Método de Resolución Lagrangiano

### D.3 Referencias

- Bhave, P.R. 1991. *Analysis of Flow in Water Distribution Networks*. Technomic Publishing. Lancaster, PA.
- Clark, R.M. 1998. "Chlorine demand and Trihalomethane formation kinetics: a second-order model", *Jour. Env. Eng.*, Vol. 124, No. 1, pp. 16-24.
- Dunlop, E.J. 1991. *WADI Users Manual*. Local Government Computer Services Board, Dublin, Ireland.
- George, A. y Liu, J. W-H. 1981. *Computer Solution of Large Sparse Positive Definite Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Hamam, Y.M, y Brameller, A. 1971. "Hybrid method for the solution of piping networks", *Proc. IEE*, Vol. 113, No. 11, pp. 1607-1612.
- Koehling, M.T. 1998. *Assessment and Modeling of Chlorine Reactions with Natural Organic Matter: Impact of Source Water Quality and Reaction Conditions*, Ph.D. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio.
- Liou, C.P. y Kroon, J.R. 1987. "Modeling the propagation of waterborne substances in distribution networks", *J. AWWA*, 79(11), 54-58.
- Notter, R.H. y Sleicher, C.A. 1971. "The eddy diffusivity in the turbulent boundary layer near a wall", *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 26, pp. 161-171.
- Osiadacz, A.J. 1987. *Simulation and Analysis of Gas Networks*. E. & F.N. Spon, London.



- Rossman, L.A., Boulos, P.F., y Altman, T. (1993). "Discrete volume-element method for network water-quality models", *J. Water Resour. Plng. and Mgmt.*, Vol. 119, No. 5, 505-517.
- Rossman, L.A., Clark, R.M., y Grayman, W.M. (1994). "Modeling chlorine residuals in drinking-water distribution systems", *Jour. Env. Eng.*, Vol. 120, No. 4, 803-820.
- Rossman, L.A. y Boulos, P.F. (1996). "Numerical methods for modeling water quality in distribution systems: A comparison", *J. Water Resour. Plng. and Mgmt.*, Vol. 122, No. 2, 137-146.
- Rossman, L.A. y Grayman, W.M. 1999. "Scale-model studies of mixing in drinking water storage tanks", *Jour. Env. Eng.*, Vol. 125, No. 8, pp. 755-761.
- Salgado, R., Todini, E., & O'Connell, P.E. 1988. "Extending the gradient method to include pressure regulating valves in pipe networks". *Proc. Inter. Symposium on Computer Modeling of Water Distribution Systems*, University of Kentucky, May 12-13.
- Todini, E. y Pilati, S. 1987. "A gradient method for the analysis of pipe networks". *International Conference on Computer Applications for Water Supply and Distribution*, Leicester Polytechnic, UK, September 8-10.