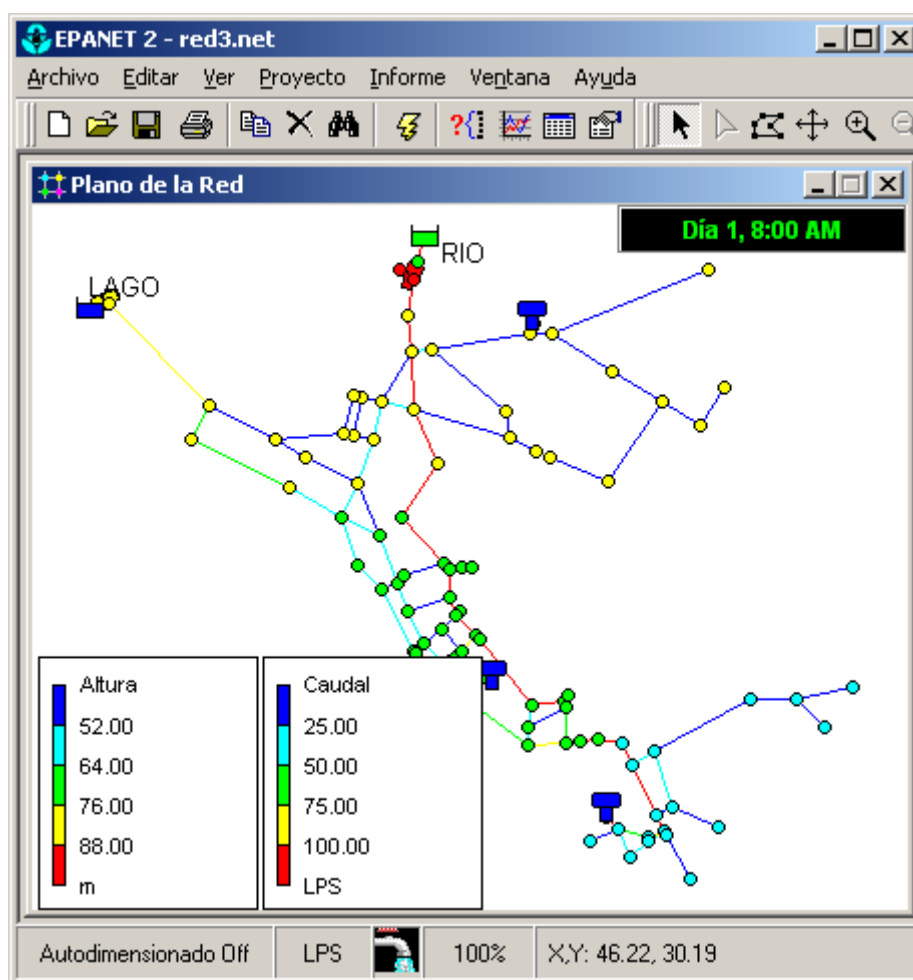


# EPANET 2 MANUAL DE USUARIO

Lewis A. Rossman  
Water Supply and Water Resources Division  
National Risk Management Research Laboratory  
Office of Research and Development  
U.S. Environmental Protection Agency  
Cincinnati, OH 45268



VERSIÓN 2.0 vE

Traducción: Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos  
Universidad Politécnica de Valencia



## ACLARACIONES SOBRE LA VERSIÓN INGLESA<sup>1</sup>

The information in this document has been funded wholly or in part by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA). It has been subjected to the Agency's peer and administrative review, and has been approved for publication as an EPA document. Mention of trade names or commercial products does not constitute endorsement or recommendation for use.

Although a reasonable effort has been made to assure that the results obtained are correct, the computer programs described in this manual are experimental. Therefore the author and the U.S. Environmental Protection Agency are not responsible and assume no liability whatsoever for any results or any use made of the results obtained from these programs, nor for any damages or litigation that result from the use of these programs for any purpose.

---

*La información contenida en este documento ha sido financiada totalmente o en parte por la U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Ha sido sometida a la inspección de la agencia y a la revisión administrativa, habiendo sido aprobada para su publicación como documento de la EPA. Las menciones realizadas a marcas o productores comerciales no constituyen un reconocimiento o recomendación para su uso.*

*Aunque se ha realizado un esfuerzo considerable para garantizar que los resultados obtenidos sean correctos, los programas de ordenador descritos en este manual son aún experimentales. Por consiguiente, ni el autor ni la U.S. Environmental Protection Agency se hacen responsables ni asumen ninguna relación con cualquiera de los resultados obtenidos con el programa, ni del uso que se haga de los mismos, ni tampoco de los daños o litigios que resultaran de la utilización de estos programas para cualquier fin.*

---

<sup>1</sup> NdT: Se ha considerado adecuado mantener la versión íntegra original de los prólogos de la versión inglesa del manual, junto con una traducción de la misma.

(Ésta página se ha dejado en blanco intencionadamente.)

## **PRÓLOGO DE LOS AUTORES ORIGINALES DE LA VERSIÓN INGLESA.**

The U.S. Environmental Protection Agency is charged by Congress with protecting the Nation's land, air, and water resources. Under a mandate of national environmental laws, the Agency strives to formulate and implement actions leading to a compatible balance between human activities and the ability of natural systems to support and nurture life. To meet this mandate, EPA's research program is providing data and technical support for solving environmental problems today and building a science knowledge base necessary to manage our ecological resources wisely, understand how pollutants affect our health, and prevent or reduce environmental risks in the future.

The National Risk Management Research Laboratory is the Agency's center for investigation of technological and management approaches for reducing risks from threats to human health and the environment. The focus of the Laboratory's research program is on methods for the prevention and control of pollution to the air, land, water, and subsurface resources; protection of water quality in public water systems; remediation of contaminated sites and ground water; and prevention and control of indoor air pollution. The goal of this research effort is to catalyze development and implementation of innovative, cost-effective environmental technologies; develop scientific and engineering information needed by EPA to support regulatory and policy decisions; and provide technical support and information transfer to ensure effective implementation of environmental regulations and strategies.

In order to meet regulatory requirements and customer expectations, water utilities are feeling a growing need to understand better the movement and transformations undergone by treated water introduced into their distribution systems. EPANET is a computerized simulation model that helps meet this goal. It predicts the dynamic hydraulic and water quality behavior within a drinking water distribution system operating over an extended period of time. This manual describes the operation of a newly revised version of the program that has incorporated many modeling enhancements made over the past several years.

E. Timothy Oppelt, Director  
National Risk Management Research Laboratory

*La Agencia de Protección del Medio Ambiente es la encargada por el congreso de la protección de la tierra, aire y recursos de agua de la Nación. Bajo el mandato de las leyes medioambientales nacionales, la Agencia intenta establecer e implementar acciones lideradas por una compatibilidad permanente entre las actividades realizadas por el ser humano y la capacidad de los recursos naturales para soportar y nutrir la vida. Para cumplir con este mandato el programa de investigación de la EPA está aportando datos y soporte tecnológico para resolver los problemas medioambientales de hoy en día y construir la base de conocimiento científica necesaria para gestionar nuestros recursos naturales con prudencia, comprender como los contaminantes afectan a nuestra salud, y prevenir o reducir los riesgos medioambientales en el futuro.*

*El laboratorio de Investigación Nacional de Dirección del Riesgo es el encargado de la investigación de las aproximaciones tecnológicas y de la gerencia cuyo objetivo es reducir los riesgos de las amenazas a la salud humana y al medio ambiente. El objetivo del programa de investigación del laboratorio es obtener métodos para la prevención y el control de la contaminación en el aire, en la tierra, en el agua, y en los recursos subacuáticos; proteger la calidad del agua en sistemas públicos de agua, remediar los lugares contaminados así como el agua subterránea; y evitar y controlar la contaminación atmosférica en recintos interiores. El propósito de este esfuerzo es promover el desarrollo y la puesta en marcha de tecnologías ambientales innovadoras, rentables; desarrollar la información científica y de ingeniería necesaria por la EPA para apoyar decisiones políticas y de control y suministrar la ayuda técnica y la transmisión de información para asegurar la puesta en marcha eficaz de regulaciones y de estrategias ambientales.*

*Para resolver los requisitos y expectativas del cliente, las utilidades del agua están experimentando un crecimiento que permite comprender mejor el movimiento y las transformaciones experimentadas por el agua tratada introducida en los sistemas de distribución. EPANET es un modelo automatizado de simulación que ayuda a conseguir esta meta. El programa predice el comportamiento dinámico de la calidad hidráulica del agua dentro de un sistema de la distribución del agua potable que funciona sobre un período del tiempo extendido. Este manual describe la operación de una versión nuevamente revisada del programa que ha incorporado muchos modelos reales llevados a cabo hace algunos años.*

E. Timothy Oppelt, Director  
National Risk Management Research Laboratory

## INDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. QUÉ ES EPANET.....	1
1.2. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO HIDRÁULICO.....	2
1.3. CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE CALIDAD DEL AGUA.....	3
1.4. PASOS EN LA UTILIZACIÓN DE EPANET.....	4
1.5. SOBRE ESTE MANUAL.....	4
<b>CAPÍTULO 2. TUTORIAL .....</b>	<b>7</b>
2.1. INSTALACIÓN DE EPANET.....	7
2.2. EJEMPLO DE RED.....	8
2.3. CREACIÓN DEL PROYECTO.....	9
2.4. DIBUJANDO LA RED DEL SISTEMA.....	10
2.5. PROPIEDADES DE LOS OBJETOS.....	12
2.6. GUARDAR Y ABRIR PROYECTOS.....	14
2.7. ANÁLISIS EN RÉGIMEN PERMANENTE.....	15
2.8. ANÁLISIS DE PERIODO EXTENDIDO.....	16
2.9. ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA.....	19
<b>CAPÍTULO 3. EL MODELO DEL SISTEMA .....</b>	<b>23</b>
3.1. COMPONENTES FÍSICOS.....	23
3.1.1. <i>Conexiones</i> .....	23
3.1.2. <i>Depósitos</i> .....	24
3.1.3. <i>Tanque</i> .....	24
3.1.4. <i>Emisores</i> .....	25
3.1.5. <i>Tuberías</i> .....	26
3.1.6. <i>Pérdidas Menores</i> .....	29
3.1.7. <i>Bombas</i> .....	29
3.1.8. <i>Válvulas</i> .....	30
3.2. COMPONENTES NO FÍSICOS.....	33
3.2.1. <i>Curvas</i> .....	33
3.2.2. <i>Patrones de Tiempo</i> .....	36
3.2.3. <i>Controles</i> .....	36
3.3. MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA.....	39
3.4. MODELO DE SIMULACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	39

3.4.1.	<i>Transporte Básico</i> .....	39
3.4.2.	<i>Mezclado en Tanques de Almacenamiento</i> .....	40
3.4.3.	<i>Cinética de Reacción</i> .....	42
3.4.4.	<i>Edad del Agua y Seguimiento de Fuentes</i> .....	44
<b>CAPÍTULO 4. ESPACIO DE TRABAJO DE EPANET</b> .....		<b>47</b>
4.1.	VISTA GENERAL.....	47
4.2.	BARRA DE MENÚ.....	48
4.2.1.	<i>Menú Archivo</i> .....	48
4.2.2.	<i>Menú Edición</i> .....	49
4.2.3.	<i>Menú Ver</i> .....	49
4.2.4.	<i>Menú Proyecto</i> .....	50
4.2.5.	<i>Menú Informe</i> .....	50
4.2.6.	<i>Menú Ventana</i> .....	51
4.2.7.	<i>Menú Ayuda</i> .....	51
4.3.	HERRAMIENTAS.....	51
4.3.1.	<i>Barra de Herramientas Estándar</i> .....	52
4.3.2.	<i>Herramientas de Plano</i> .....	52
4.4.	BARRA DE ESTADO.....	53
4.5.	PLANO DE RED.....	53
4.6.	BUSCADOR DE DATOS.....	54
4.7.	BUSCADOR DE PLANO.....	54
4.8.	EDITOR DE PROPIEDADES.....	55
4.9.	PREFERENCIAS DE PROGRAMA.....	56
4.9.1.	<i>Preferencias Generales</i> .....	56
4.9.2.	<i>Preferencias de Formato</i> .....	58
<b>CAPÍTULO 5. TRABAJANDO CON PROYECTOS</b> .....		<b>59</b>
5.1.	ABRIENDO Y GUARDANDO LOS ARCHIVOS DE PROYECTO.....	59
5.2.	PROYECTOS PREDETERMINADOS.....	60
5.2.1.	<i>Etiquetas de ID Predeterminadas</i> .....	61
5.2.2.	<i>Propiedades Nudo/Línea Predeterminadas</i> .....	61
5.2.3.	<i>Opciones Hidráulicas Predeterminadas</i> .....	62
5.3.	DATOS DE CALIBRACIÓN.....	63
5.3.1.	<i>Ficheros de Calibración</i> .....	63
5.3.2.	<i>Registrando Datos de Calibración</i> .....	64
5.4.	RESUMEN DEL PROYECTO.....	65
<b>CAPÍTULO 6. TRABAJANDO CON OBJETOS</b> .....		<b>67</b>
6.1.	TIPOS DE OBJETOS.....	67
6.2.	AÑADIENDO OBJETOS.....	67
6.2.1.	<i>Añadiendo un Nudo</i> .....	67



6.2.2.	<i>Añadiendo un Línea</i> .....	68
6.2.3.	<i>Añadiendo una Etiqueta de Plano</i> .....	69
6.2.4.	<i>Añadiendo una Curva</i> .....	69
6.2.5.	<i>Añadiendo un Patrón de Tiempos</i> .....	69
6.2.6.	<i>Utilizando un Fichero de Texto</i> .....	69
6.3.	SELECCIONANDO OBJETOS.....	70
6.4.	EDITANDO OBJETOS VISIBLES.....	70
6.5.	EDITANDO OBJETOS NO VISIBLES.....	76
6.5.1.	<i>Editor de Curva (Curve Editor)</i> .....	77
6.5.2.	<i>Editor de Patrón (Pattern Editor)</i> .....	78
6.5.3.	<i>Editor de Controles (Controls Editor)</i> .....	79
6.5.4.	<i>Editor de Demanda (Demand Editor)</i> .....	79
6.5.5.	<i>Editor de Fuente de Calidad (Source Quality Editor)</i> .....	80
6.6.	COPIANDO Y PEGANDO OBJETOS.....	81
6.7.	CAMBIANDO E INVIRTIENDO LÍNEAS.....	82
6.8.	BORRANDO UN OBJETO.....	83
6.9.	MOVIENDO UN OBJETO.....	84
6.10.	SELECCIONANDO UN GRUPO DE OBJETOS.....	84
6.11.	EDITANDO UN GRUPO DE OBJETOS.....	85
<b>CAPÍTULO 7. TRABAJANDO CON EL MAPA.....</b>		<b>87</b>
7.1.	SELECCIONANDO UNA VISTA DEL PLANO.....	87
7.2.	CONFIGURANDO LAS DIMENSIONES DEL PLANO.....	88
7.3.	UTILIZANDO UN PLANO DE FONDO.....	89
7.4.	ZOOM DEL PLANO.....	90
7.5.	DESPLAZANDO EL PLANO.....	91
7.6.	ENCONTRANDO UN OBJETO.....	92
7.7.	LEYENDAS DE PLANO.....	93
7.8.	VISTA GENERAL DEL PLANO.....	94
7.9.	OPCIONES VISUALES DEL PLANO.....	95
7.9.1.	<i>Opciones de Nudo</i> .....	96
7.9.2.	<i>Opciones de Línea</i> .....	96
7.9.3.	<i>Opciones de Etiqueta</i> .....	96
7.9.4.	<i>Opciones de Notación</i> .....	97
7.9.5.	<i>Opciones de Símbolo</i> .....	97
7.9.6.	<i>Opciones de Flecha de Caudal</i> .....	98
7.9.7.	<i>Opciones de Fondo</i> .....	98
<b>CAPÍTULO 8. ANALIZANDO UN SISTEMA.....</b>		<b>99</b>
8.1.	CONFIGURACIÓN DE LAS OPCIONES DE ANÁLISIS.....	99
8.1.1.	<i>Opciones Hidráulicas</i> .....	99

8.1.2.	<i>Opciones de Calidad de Agua</i> .....	101
8.1.3.	<i>Opciones de Reacción</i> .....	102
8.1.4.	<i>Opciones de Tiempo</i> .....	103
8.1.5.	<i>Opciones de Energía</i> .....	104
8.2.	INICIO DEL ANÁLISIS.....	104
8.3.	SOLUCIONANDO PROBLEMAS.....	105
8.3.1.	<i>Bombas no pueden entregar Caudal o Altura (Pumps Cannot Deliver Flow or Head)</i> .....	105
8.3.2.	<i>La Red está Desconectada (Network is Disconnected)</i> .....	105
8.3.3.	<i>Aparición de Presiones Negativas (Negative Pressures Exist)</i> .....	105
8.3.4.	<i>Sistema Indeterminado (System Unbalanced)</i> .....	106
8.3.5.	<i>Ecuaciones Hidráulicas Irresolubles (Hydraulic Equations Unsolvable)</i> .....	106
<b>CAPÍTULO 9. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>107</b>
9.1.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS EN EL PLANO.....	107
9.1.1.	<i>Activando un plano de Consulta</i> .....	108
9.2.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS EN GRÁFICAS.....	109
9.2.1.	<i>Página General (General Page)</i> .....	114
9.2.2.	<i>Páginas de los Ejes (Horizontal and Vertical Axis Pages)</i> .....	115
9.2.3.	<i>Página de Leyenda (Legend Page)</i> .....	115
9.2.4.	<i>Página de Series (Series Page)</i> .....	116
9.3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS EN TABLAS.....	118
9.3.1.	<i>Página Tipo (Type Page)</i> .....	120
9.3.2.	<i>Página de Columnas (Columns Page)</i> .....	120
9.3.3.	<i>Página de Filtros (Filters Page)</i> .....	121
9.4.	PRESENTACIÓN DE INFORMES ESPECIALES.....	122
9.4.1.	<i>Informe de Estado (Status Report)</i> .....	123
9.4.2.	<i>Informe Energético (Energy Report)</i> .....	123
9.4.3.	<i>Informe de Calibración (Calibration Report)</i> .....	124
9.4.4.	<i>Informe de Reacción (Reaction Report)</i> .....	126
9.4.5.	<i>Informe Completo (Full Report)</i> .....	127
<b>CAPÍTULO 10. IMPRIMIENDO Y COPIANDO.....</b>		<b>129</b>
10.1.	SELECCIONANDO UNA IMPRESORA.....	129
10.2.	CONFIGURANDO EL FORMATO DE PÁGINA.....	129
10.3.	VISTA PRELIMINAR.....	130
10.4.	IMPRIMIENDO LA VISTA ACTUAL.....	131
10.5.	COPIANDO AL PORTAPAPELES O A UN FICHERO.....	131
<b>CAPÍTULO 11. IMPORTANDO Y EXPORTANDO INFORMACIÓN.....</b>		<b>133</b>
11.1.	ESCENARIOS DE PROYECTOS.....	133
11.2.	EXPORTANDO UN ESCENARIO.....	133
11.3.	IMPORTANDO UN ESCENARIO.....	134

11.4.	IMPORTANDO UNA PARTE DEL SISTEMA.....	135
11.5.	IMPORTANDO UN PLANO DE RED. ....	136
11.6.	EXPORTANDO EL PLANO DE RED. ....	136
11.7.	EXPORTANDO A UN ARCHIVO DE TEXTO.....	137
<b>CAPÍTULO 12.</b>	<b>PREGUNTAS MÁS FRECUENTES.....</b>	<b>139</b>
	<i>¿Cómo puedo importar una red de cañerías creada con un programa CAD o GIS?.....</i>	<i>139</i>
	<i>¿Cómo puedo modelizar un pozo de agua?.....</i>	<i>139</i>
	<i>¿Cómo puedo seleccionar una bomba para un determinado caudal?.....</i>	<i>139</i>
	<i>¿Cómo puedo seleccionar una bomba para un determinado caudal?.....</i>	<i>139</i>
	<i>¿Cómo puedo forzar un programa determinado de caudales fuente entrantes en la red desde mis depósitos?.....</i>	<i>139</i>
	<i>¿Cómo puedo analizar las condiciones del caudal de incendios de un nudo de conexión en particular?.....</i>	<i>140</i>
	<i>¿Cómo puedo simular una válvula de prevención de flujo inverso y reductora de presión?.....</i>	<i>140</i>
	<i>¿Cómo modelar un tanque neumático presurizado?.....</i>	<i>140</i>
	<i>¿Cómo puedo modelizar la entrada a un tanque que descarga por debajo del nivel de agua?.....</i>	<i>140</i>
	<i>¿Cómo puedo determinar las condiciones iniciales para un análisis de calidad del agua?.....</i>	<i>141</i>
	<i>¿Cómo puedo estimar los valores de los coeficientes de reacción en el flujo y en la pared?.....</i>	<i>141</i>
	<i>¿Cómo puedo simular una estación impulsora de cloro?.....</i>	<i>142</i>
	<i>¿Cómo puedo modelizar el crecimiento de THM en el sistema?.....</i>	<i>142</i>
	<i>¿Puedo utilizar un editor de texto para editar propiedades del sistema mientras EPANET está funcionando?.....</i>	<i>142</i>
	<i>¿Puedo abrir diferentes sesiones de EPANET a la vez?.....</i>	<i>143</i>
	<b>APÉNDICE A - UNIDADES DE MEDIDA .....</b>	<b>145</b>
	<b>APÉNDICE B – MENSAJES DE ERROR.....</b>	<b>147</b>
	<b>APÉNDICE C – LÍNEA DE COMANDO DE EPANET.....</b>	<b>149</b>
C.1.	INSTRUCCIONES GENERALES. ....	149
C.2.	FORMATO DEL FICHERO DE ENTRADA. ....	149
C.3.	FORMATO DEL FICHERO INFORME.....	189
	<i>Sección de Estado.....</i>	<i>189</i>
	<i>Sección de Energía.....</i>	<i>189</i>
	<i>Sección de Nudos.....</i>	<i>191</i>
	<i>Sección de Líneas.....</i>	<i>192</i>
C.4.	FORMATO BINARIO DEL ARCHIVO DE SALIDA.....	192
	<i>Sección Prólogo.....</i>	<i>193</i>
	<i>Sección Uso Energético.....</i>	<i>195</i>
	<i>Sección Régimen Transitorio.....</i>	<i>195</i>
	<i>Sección Epílogo.....</i>	<i>196</i>
	<b>APÉNDICE D – ALGORITMOS DEL ANÁLISIS.....</b>	<b>199</b>

D.1. HIDRÁULICA.....	199
D.2. CALIDAD DEL AGUA.....	207
<i>Transporte Advectivo en Tuberías</i> .....	207
<i>Mezcla en las Conexiones de las Tuberías</i> .....	207
<i>Mezcla en Dispositivos de Almacenaje</i> .....	208
<i>Reacciones en el Seno del Flujo</i> .....	208
<i>Reacciones en la Pared de la Tubería</i> .....	210
<i>Sistema de Ecuaciones</i> .....	211
<i>Algoritmo Lagrangiano del Transporte</i> .....	212
D.3. REFERENCIAS.....	213

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

---

### 1.1. Qué es EPANET.

EPANET es un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión. En general, una red consta de tuberías, nudos (conexiones entre tuberías), bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos. EPANET determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión en cada uno de los nudos, el nivel de agua en cada tanque y la concentración de diferentes componentes químicos a través de la red durante un determinado periodo de simulación analizado en diferentes intervalos de tiempo. Además del conocimiento de la concentración de diferentes componentes químicos, es posible determinar el tiempo de permanencia del agua en las tuberías, así como estudios de la procedencia del agua en cada punto de la red.

EPANET está diseñado para ser una herramienta de desarrollo en el aumento del conocimiento relacionado con el movimiento y el destino de los constituyentes del agua en una red de distribución. De hecho puede emplearse para multitud de aplicaciones en el análisis de sistemas de distribución. Diseño de programas de muestreo, calibración de modelos hidráulicos, análisis del cloro residual y valoración del riesgo a que se encuentran sometidos los consumidores son algunas de las aplicaciones que pueden llevarse a cabo. Asimismo EPANET puede servir de ayuda para la evaluación de diferentes estrategias alternativas de gestión de los sistemas de distribución encaminadas todas ellas a la mejora de la calidad del agua dentro del sistema. Esto incluye:

- utilización alternativa de las fuentes de suministro en sistemas que disponen de múltiples fuentes de abastecimiento,
- variación de los esquemas de bombeo y de llenado y vaciado de los depósitos,
- uso de técnicas de tratamiento satélite, tales como la rechloración en determinados depósitos de almacenamiento,
- determinación de conducciones que deben ser limpiadas o sustituidas.

EPANET, que puede emplearse bajo sistemas operativos Windows, ofrece un entorno de trabajo integrado para la edición de los datos de entrada de la

red, para el cálculo hidráulico y las simulaciones de la calidad del agua, y para poder visualizar los resultados obtenidos en una amplia variedad de formatos. Esta variedad de formatos incluye planos de la red con códigos de colores, tablas de datos, gráficos con evoluciones temporales de diferentes variables, y planos con curvas de isoniveles.

## 1.2. Características del Modelo Hidráulico.

Para la realización del modelo de calidad del agua es necesario disponer de un modelo hidráulico preciso y completo. EPANET es un motor de análisis hidráulico actual que incluye las siguientes características:

- no existe límite en el tamaño de la red que se desea analizar
- calcula las pérdidas por fricción en las conducciones mediante las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning
- incluye pérdidas menores en elementos tales como codos, acoplamientos, etc.
- modela bombas funcionando tanto a velocidad de giro constante como a velocidades de giro variables
- calcula la energía consumida y el coste de bombeo de las estaciones
- modela diferentes tipos de válvulas, incluyendo válvulas de regulación, válvulas de retención, válvulas de aislamiento, válvulas reductoras de presión, válvulas de control de caudal, etc.
- permite el almacenamiento de agua en tanques que presenten cualquier geometría (por ejemplo que la sección del tanque sea variable con la altura del mismo).
- considera la posibilidad de establecer diferentes categorías de consumo en los nudos, cada una de ellas con su propia curva de modulación
- modeliza consumos dependientes de la presión que salen al exterior del sistema a través de emisores (rociadores, aspersores)
- puede determinar el funcionamiento del sistema simplemente con el nivel de agua en el tanque y controles de tiempo o utilizar un complicado sistema de regulación temporal.

### 1.3. Características del modelo de Calidad del Agua.

Además del modelo hidráulico, EPANET también tiene las siguientes capacidades en la modelización de la calidad del agua:

- realiza el seguimiento en el tiempo de sustancias no reactivas que se encuentran en la red
- modela el comportamiento de un material reactivo tanto si aumenta su concentración como si se disipa a lo largo del tiempo
- modela la edad del agua a lo largo de la red
- realiza el seguimiento de una porción de fluido desde un nudo dado a través de todos los demás a lo largo del tiempo
- modela reacciones en el seno del fluido y en la capa de la pared de la tubería
- utiliza ecuaciones cinéticas polinómicas para modelar las reacciones en el seno del flujo
- utiliza coeficientes y ecuaciones lineales para modelar las reacciones en la pared de la tubería
- tiene en cuenta las limitaciones derivadas de aplicar la conservación de la masa en la modelación de las reacciones de la pared de tubería
- permite el crecimiento o descenso de la reacción hasta una concentración límite
- emplea coeficientes generales en las reacciones que pueden ser modificados tubería a tubería
- permite que los coeficientes de las reacciones de pared sean correlativos con la rugosidad de la tubería
- permite a lo largo del tiempo entradas de concentración o masa en cualquier punto de la instalación
- modela los depósitos de tres formas: de mezcla completa, de flujo en pistón, o con dos compartimentos de mezcla.

Gracias a todas éstas características, EPANET puede estudiar cualquier fenómeno de calidad del agua, tales como:

- mezclado de aguas de diferentes fuentes

- edad del agua a lo largo del sistema
- disminución del cloro residual
- crecimiento de los subproductos de desinfección
- seguimiento de posibles situaciones de propagación de la contaminación.

#### **1.4. Pasos en la utilización de EPANET.**

A continuación se enumeran los pasos básicos a seguir en la utilización de EPANET para modelar un sistema de distribución de aguas:

1. Dibuja una representación de la red del sistema de distribución (ver Sección 6.1 y Sección 6.2) o importa una descripción básica de la red en un fichero de texto (ver Sección 11.4).
2. Edita las propiedades de los objetos que conforman el sistema (ver Sección 6.4)
3. Describe como trabaja el sistema (ver Sección 6.5)
4. Determina las opciones de análisis (ver Sección 8.1)
5. Inicia un análisis hidráulico o de calidad del agua (ver Sección 8.2)
6. Obtener los resultados del análisis (ver Capítulo 9).

#### **1.5. Sobre este Manual.**

El Capítulo 2 de éste manual explica como instalar EPANET en nuestro ordenador así como un tutorial en el uso del programa. Aquellas personas que no estén familiarizadas con los sistemas de distribución deberían leer antes el Capítulo 3 para una mejor comprensión.

El Capítulo 3 explica como EPANET caracteriza los diferentes dispositivos que constituyen un sistema de distribución de agua. Toda la información acerca de como se comportan éstos elementos físicos además de información adicional de modelización, tales como variaciones temporales y parámetros de control, se encuentra recogida en éste capítulo. Además también se resume cómo se modelizan numéricamente los sistemas hidráulicos y los análisis de calidad del agua.



El Capítulo 4 explica cómo está organizado el espacio de trabajo de EPANET. Nos describe las funciones de los distintos menús y barras de tareas y cómo utilizar las tres ventanas principales, el Plano de Red, el Buscador y el Editor de Propiedades.

El Capítulo 5 explica cómo se guarda toda la información del modelo del sistema de distribución en un Proyecto. Explica cómo crear, abrir y guardar éste tipo de ficheros así como las diferentes opciones que tiene. También se explica como obtener información del régimen de trabajo, muy utilizada en la comparación de los resultados de la simulación y las medidas reales.

El Capítulo 6 describe cómo podemos construir el modelo de un sistema de distribución con EPANET. Se muestra cómo crear los diferentes dispositivos físicos (tuberías, bombas, válvulas, conexiones, tanques, etc.) que conforman el sistema, cómo editar las propiedades de éstos dispositivos, y cómo implementar las demandas y cambios de operación de éstos sistemas a lo largo del tiempo.

El Capítulo 7 explica cómo utilizar el plano de red que nos da una visión gráfica del sistema modelado. Se muestra cómo ver diferentes trazados y parámetros estimados en forma de gráfico de colores sobre el plano, cómo cambiar la escala, utilizar el zoom, y cómo obtener el plano, además de las diferentes opciones para cambiar la apariencia del mismo.

El Capítulo 8 muestra cómo realizar el análisis hidráulico o de calidad del agua del modelo de la red. Describe diferentes opciones a la hora de realizar los análisis y se explican diferentes soluciones a los problemas tipo que pueden aparecer al examinar los resultados de la simulación.

El Capítulo 9 muestra las diferentes formas de obtener los resultados de los análisis. Esto incluye diferentes formas de mostrar el plano de red, varios tipos de gráficos y tablas, y algunos tipos de informes especiales.

El Capítulo 10 explica cómo imprimir y copiar los diferentes formatos que se mencionan en el Capítulo 9.

El Capítulo 11 explica cómo EPANET puede importar y exportar Escenarios. Un Escenario es un conjunto de datos que caracteriza las condiciones actuales bajo las cuales el sistema de distribución es analizado (por ejemplo, demandas de los consumos, condiciones de funcionamiento, coeficientes de reacción de la calidad del agua, etc.). También se explica cómo guardar toda la información contenida en el Proyecto en un archivo de texto y cómo exportar el plano de red en diferentes formatos.

El Capítulo 12 responde preguntas de cómo EPANET puede utilizarse para modelizar situaciones especiales, tales como calderines, encontrar el caudal disponible máximo a una presión dada, o modelizar el crecimiento de los subproductos de la desinfección.

Este manual también contiene diferentes apéndices. El Apéndice A es una tabla con las unidades utilizadas en todos los modelos y parámetros estimados. El Apéndice B es una lista con los códigos de los diferentes mensajes de error que pueden aparecer y su significado. El Apéndice C explica cómo puede ser utilizado EPANET desde una línea de comando desde el DOS, y señala los formatos de archivo utilizados en éste modo de operación. El Apéndice D muestra detalles de los diferentes métodos y fórmulas utilizados por EPANET en sus algoritmos de análisis hidráulico y de calidad del agua.

## CAPÍTULO 2. TUTORIAL

---

*Este capítulo contiene un tutorial de EPANET. Si no está familiarizado con los componentes que conforman un sistema de distribución de aguas y cómo son representados en un modelo de red deberá revisar antes las dos primeras secciones del Capítulo 3.*

### 2.1. Instalación de EPANET.

EPANET Versión 2 está diseñado par trabajar bajo los entornos de Windows 95/98/NT en un ordenador personal IBM/Intel compatible. Se distribuye en un único fichero, **en2setup.exe**, el cual contiene el programa de instalación automático. Para instalar EPANET:

1. Seleccione **Ejecutar** (Run) desde el menú Inicio de Windows.
2. Introduzca el “path” completo y el nombre del fichero **en2setup.exe** o clic el botón de **Búsqueda** (Browse) para localizarlo en su ordenador.
3. Clic **Aceptar** (OK button) para que comience la instalación.

El programa de instalación le preguntará en que carpeta o directorio desea instalar el programa. El destino predeterminado es **c:\Archivos de Programa\EPANET2**. Después de instalarse los ficheros tendrá un nuevo icono, en el menú de Inicio, llamado EPANET 2.0. Para arrancar el programa sólo tiene que seleccionar éste icono en el menú de inicio, después seleccione EPANET 2.0 en el submenú que aparecerá. (El nombre del ejecutable que arranca EPANET bajo Windows es **epanet2w.exe**).

Si desea desinstalar EPANET de su ordenador no tiene más que seguir las siguientes instrucciones:

1. Seleccione **Configuración** (Settings) en el menú Inicio.
2. Seleccione **Panel de Control** (Control Panel) en el menú de configuración.
3. Haga doble clic sobre el icono **Agregar/Quitar Programas** (Add/Remove Programs).
4. Seleccione EPANET 2.0 de la lista de programas que aparece.

- Clic el botón de **Agregar/Quitar** (Add/Remove).

## 2.2. Ejemplo de Red.

En este tutorial analizaremos la red de distribución mostrada en la Figura 2.1. Está formada por un depósito fuente (source reservoir), por ejemplo, un pozo de decantación, desde el cual el agua es bombeada a una red de distribución. También hay una tubería conectada a un depósito de almacenamiento que servirá como fuente secundaria. Las etiquetas de identificación (ID labels) de los diferentes componentes se muestran en la figura. Los nudos de la red tienen las características que se muestran en la Tabla 2.1 y las características de las tuberías se encuentran en la Tabla 2.2. Además, la bomba (ID 9) tiene una altura en función del caudal dada por los puntos ( $H_0-Q_0$ ,  $H_1-Q_1$ ,  $H_2-Q_2$ ), el tanque (Nudo 10) tiene un diámetro de 20m, el nivel del agua es de 5'25 m, el nivel máximo es de 7 m y el mínimo de 2m.

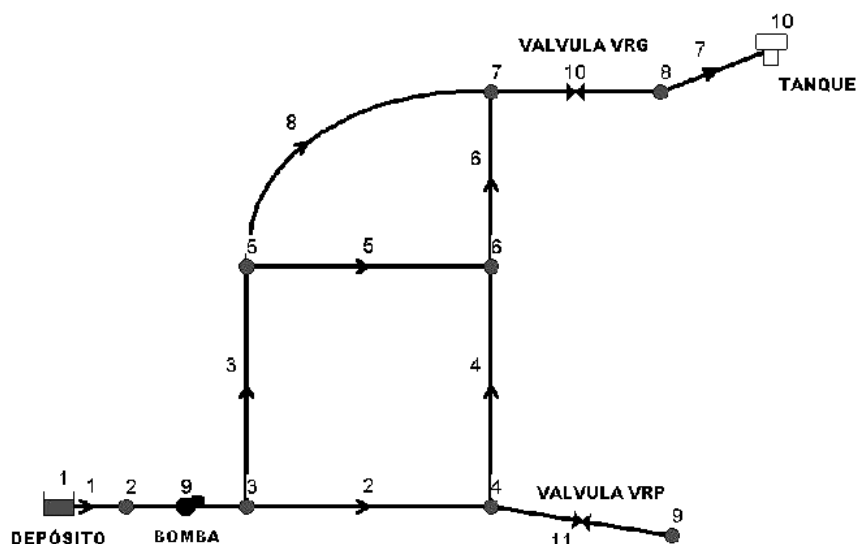


Figura 2.1. Ejemplo Red de Tuberías.

Nudo	Altura (m)	Demanda (l/s)
2	0,5	0
3	3	10
4	2	5
5	0,5	5
6	4	20
7	17	0
8	17	0
9	2	40

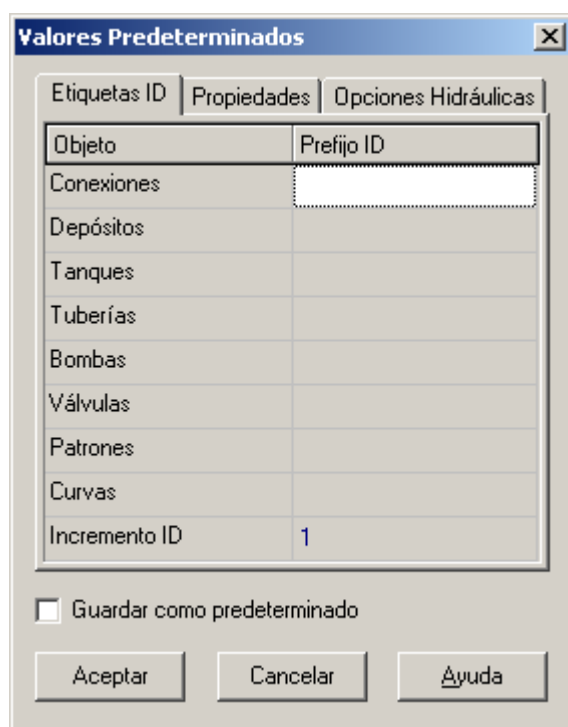
Tabla 2.1. Características de los nudos.

Conducción	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad (mm)
1	1	300	1,2
2	500	250	1,2
3	500	250	1,2
4	500	200	1,2
5	500	150	1,2
6	500	200	1,2
7	500	300	1,2
8	750	150	1,2

**Tabla 2.2.** Características de las Conducciones.

### 2.3. Creación del Proyecto.

Lo primero que tenemos que hacer es crear un nuevo proyecto en EPANET y asegurarnos que las opciones predeterminadas están seleccionadas. Para empezar, arranca EPANET, si ya lo has hecho selecciona **Fichero** >> **Nuevo** (File >> New) de la barra de comandos para crear un nuevo proyecto. Después selecciona **Proyecto** >> **Predeterminado** (Project >> Defaults) para abrir el cuadro de diálogo de la Figura 2.2. Utilizaremos éste



**Figura 2.2.** Valores predeterminados del Proyecto.

cuadro de diálogo para hacer que EPANET asigne automáticamente las etiquetas de identificación (ID) a los nuevos objetos utilizando una numeración consecutiva empezando con el 1, a medida que son introducidos en el modelo. En la página de diálogo de las ID borra todos los campos menos el de **Incremento ID** (ID Increment) que le asignará el valor de 1. A continuación abre la página Hidráulica (Hydraulics) y selecciona LPS (litros por segundo) como las unidades de caudal. Esto implica que todas las demás variables que aparezcan vendrán expresadas en unidades del sistema internacional (longitud en metros, diámetros en mm, presión en mca, etc.). Selecciona también Darcy-Weisbach (D-W) como fórmula de pérdidas. Si quiere salvar ésta configuración para proyectos futuros no tiene más que

seleccionar el cuadrado del final del cuadro de diálogo antes de terminar con la configuración apretando el botón de **Aceptar** (OK).

A continuación determinaremos las opciones de visualización del plano así como la adición de objetos al mismo, también veremos las etiquetas de ID y la simbología que aparece. Selecciona **Ver >> Opciones** (View >> Options) para abrir el cuadro de Opciones de Plano. Selecciona la página de Notación (Notation) y complétala con los valores mostrados en Figura 2.3. Abra la página de Símbolos (Symbols) y selecciona todo. Presiona el botón de Aceptar (OK) cuando termine.

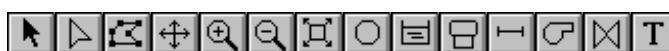



**Figura 2.3.** Cuadro de Opciones de Plano.


Finalmente, antes de empezar a dibujar nuestro sistema debemos asegurarnos que la escala del plano sea la correcta. Selecciona **Ver >> Dimensiones** (View >> Dimensions). Observe los valores predeterminados, como son suficientes para éste ejemplo presione el valor de Aceptar (OK).


## 2.4. Dibujando la Red del Sistema.

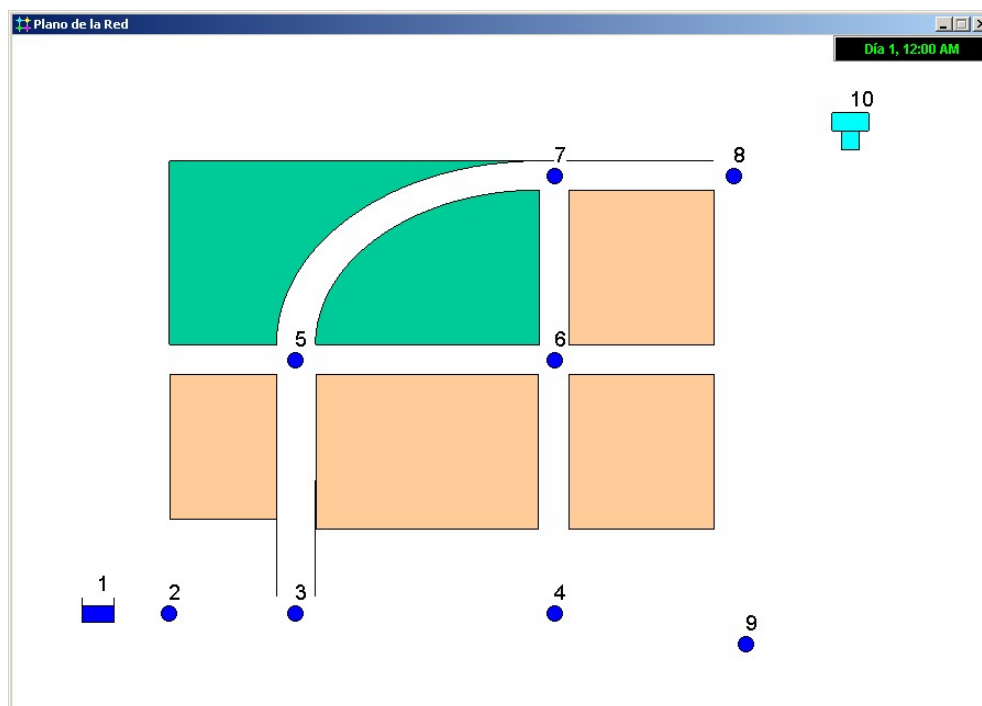
Ya estamos preparados para empezar a dibujar nuestra red hidráulica utilizando el ratón y los botones que aparecen en la barra de herramientas del plano, mostrados en la figura. (Si no ve en pantalla ésta barra seleccione **Ver >> Herramientas >> Plano** (View >> Toolbars >> Map).




Primero dibujaremos el depósito. Haz clic sobre el botón . A continuación no tienes más que hacer clic con el ratón sobre la posición en el plano donde quieras situarlo.

Lo siguiente, los nudos de conexión. Haz clic en el botón  y después selecciona en el plano las posiciones de todos los nudos (colócalos como en la Figura.2.4).


Por último sólo nos queda añadir el tanque. Haz clic sobre el botón  y selecciona el lugar del plano donde quieras colocarlo. A éstas alturas el plano será más o menos como se muestra en la Figura 2.4.






**Figura 2.4.** Plano de Red después de añadir los nudos.

Lo próximo será añadir las conducciones Empezaremos con la conducción 1 conectando el nudo 1 al 2. Haz clic sobre el botón . A continuación, con el ratón haz clic sobre el nudo 3 y después el nudo 4. Aparecerá una línea que unirá ambos nudos. Repita ésta operación para las demás conducciones excepto los tramos 2-3, 4-9, 5-7 y 7-8.



Como la conducción del tramo 5-7 es curva, para dibujarla: haz clic sobre el nudo 5, después, a medida que mueve el ratón hacia el nudo 7, marque los puntos necesarios en el trayecto para mantener el perfil deseado. Complete el trayecto haciendo clic sobre el nudo 7.

Para añadir la bomba, haga clic sobre el botón , a continuación haz clic sobre el nudo 2 y después el nudo 3.

Por último dibujaremos las válvulas , para ello pincharemos en el nudo 7 hasta el 8, y después repetiremos la operación con el nudo 4 y 9.

Lo siguiente será identificar el depósito, las válvulas, la bomba y el tanque. Selecciona el botón de texto  en la barra de herramientas y haz clic en algún lugar cercano al depósito (Nudo 1). Aparecerá un cuadro de edición. Escribe la palabra DEPOSITO y después aprieta la tecla **Enter**. Repita ésta operación con las válvulas, la bomba y el tanque. Selecciona el botón  en la barra de herramientas para que el plano vuelva al modo Selección de Objetos en vez del modo Inserción de Texto.

Ya tenemos representada gráficamente la red del ejemplo y será similar a la mostrada en la Figura 2.1. Si algún nudo ésta fuera de su posición puede moverlo seleccionándolo con el botón izquierdo del ratón y manteniéndolo apretado arrastrarlo hasta su nueva posición. Observe que las conducciones, conectadas a éste nudo, se adaptan a la nueva posición. Las etiquetas pueden moverse de la misma forma. Para modificar la conducción 8:


1. Primero seleccione la conducción y después haga clic en el botón  en la barra de herramientas para poner el plano en el modo Selección de Vértices.
2. Seleccione el extremo de la conducción con un clic y arrástrelo hasta la nueva posición manteniendo el botón del ratón apretado.
3. Si los necesita, puede añadir o quitar nudos intermedios en la conducción apretando el botón derecho del ratón, teniendo seleccionada la conducción, y elegir la opción deseada en el menú que aparecerá.
4. Cuando termine, apriete el botón  para volver el modo Selección de Objetos.

## 2.5. Propiedades de los Objetos.

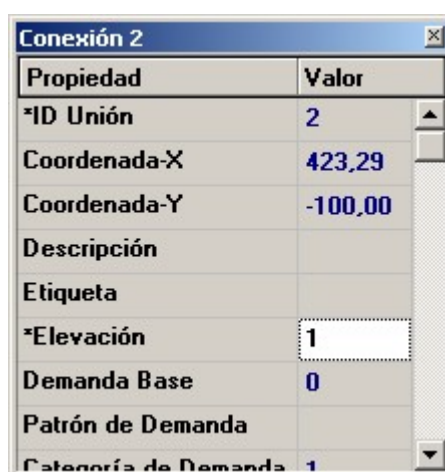
A medida que se añaden objetos al Proyecto se les asignan unas propiedades predeterminadas. Para cambiar éstas propiedades en un objeto debe seleccionarlo en el Editor de Propiedades (Property Editor), Figura 2.5. Existen diferentes formas de hacerlo. Si el editor ya ésta activado no tiene más que hacer clic sobre el objeto o seleccionarlo desde la página de Datos



(Data page) del Buscador (Browser). Si el editor no está activado siga las siguientes instrucciones:

- Haga doble clic sobre el objeto en el plano.
- Presione el botón derecho del ratón sobre el objeto y seleccione **Propiedades** (Properties) en el menú que aparecerá.
- Seleccione el objeto de la página de Datos (Data page) del Buscador (Browser) y después haz clic sobre el botón del Editor del Buscador (Browser's Edit button) .

Una vez el Editor de Propiedades (Property Editor) tiene una selección puede utilizar la tecla F1 para obtener una descripción completa de las propiedades.



Propiedad	Valor
*ID Unión	2
Coordenada-X	423,29
Coordenada-Y	-100,00
Descripción	
Etiqueta	
*Elevación	1
Demanda Base	0
Patrón de Demanda	
Categoría de Demanda	1

**Figura 2.5.** Editor de Propiedades.

Empezaremos con el Nudo 2 tal y como se muestra en la figura de arriba. Ahora podemos introducir la cota (Elevación) y la demanda (Demand) para éste nudo en los respectivos campos. Podemos utilizar las flechas de **Arriba** y **Abajo** del teclado o el ratón para desplazarnos entre los diferentes campos. Tan solo se necesita seleccionar otro objeto (nudo o línea) para tener sus propiedades en un nuevo Editor de Propiedades. (También podemos seleccionar el objeto anterior o el siguiente utilizando las teclas de **RePag** y **AvPag**.) De ésta forma, podemos movernos de un objeto a otro y rellenar su altura y demanda para los nudos, y longitud, diámetro y rugosidad (factor  $\epsilon=1,2$  mm) para las líneas.

Para el depósito introducirá su altura (0,5 m) en el campo de Altura Total. Para el tanque, 38 m de altura, un nivel inicial de 5,25 m, un nivel máximo de 7 m, un mínimo de 2 m, y un diámetro de 20 m. La válvula 11 tiene de diámetro 300 mm, una presión de tarado de 40 mca y es del tipo VRP (PRV en inglés). La 10 es una válvula de regulación por estrangulamiento del flujo (VRG en inglés TCV) con un diámetro de 300 mm.

A la bomba necesitaremos asignarle una curva característica (altura vs. caudal). Marque un 1 en el campo de Curva Característica (Pump Curve).

A continuación crearemos la Curva Característica 1. Desde la página de Datos del Buscador, seleccione **Curvas** del listado y haga clic sobre el botón . Una nueva Curva 1 se añadirá a la base de datos y aparecerá el cuadro de diálogo del Editor de Curvas (ver Figura 2.6). Introduzca los valores de caudal (flow) y altura (head) en la hoja de datos, para cada uno de los puntos: 55mca-0l/s, 50mca-90l/s, 40-130l/s. EPANET creará automáticamente una curva a partir de estos puntos. La ecuación de la curva aparecerá junto con la figura. Haga clic en **Aceptar** (OK) para cerrar el Editor.

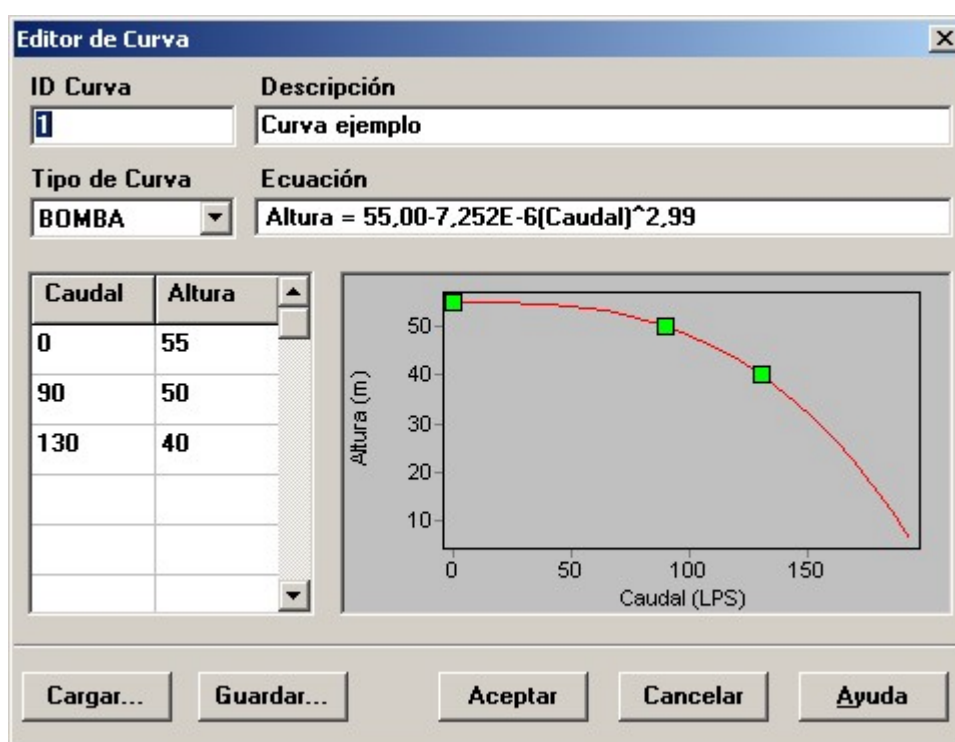


Figura 2.6. Editor de Curvas.

## 2.6. Guardar y Abrir Proyectos.

Una vez ya tenemos el diseño preliminar de nuestro sistema es un buen momento para salvarlo en un archivo.

1. Desde el menú **Archivo** (File) selecciona la opción **Guardar como** (Save as).
2. En el submenú que aparece selecciona la carpeta y el nombre de fichero bajo el que quieres guardar el Proyecto. Por


ejemplo **tutorial.net**. (La extensión **.net** se añadirá al nombre del fichero si no se ha especificado.)

3. Haga clic en **Aceptar** (OK) para guardar el archivo.


Los datos del Proyecto se guardarán en un formato especial en binario. Si quieren guardar éstos datos en un archivo de texto, haz **Archivo >> Exportar >> Red** (File >> Export >> Network).

Para abrir nuestro proyecto en otro momento, seleccionaremos la opción **Abrir** del menú **Archivo**.

## 2.7. Análisis en Régimen Permanente.

Ahora tenemos suficiente información para realizar un análisis Hidráulico en Régimen Permanente de nuestro ejemplo. Para ello, selecciona Proyecto >> Iniciar Análisis (**Project >> Run Analysis**) o haz clic en el botón de arrancar  en la barra de herramientas. (Si la barra de herramientas no aparece en pantalla selecciona **Ver >> Barras de Herramientas >> Estándar** (View >> Toolbars >> Standard) de la barra de menú).

Si no se puede iniciar aparecerá una ventana de Informe de Estado (Status Report) que nos indicará cuál es el problema. Si el análisis se realiza con éxito puede ver los resultados de distintas formas. Intente algunas de las siguientes:

- Seleccione Presión de Nudo (Node Pressure) desde la página Plano del Buscador (Browser's Map page) y observe como los valores de presión en los nudos se colorean. Para ver la leyenda de colores, seleccione **Ver >> Leyenda >> Nudo** (View >> Legends >> Node) o presione el botón derecho del ratón y seleccione Leyenda de Nudo (Node Legend) en el menú que aparece. Para cambiar los sectores y colores de la leyenda, apriete el botón derecho sobre la leyenda para que aparezca el Editor de Leyenda.
- Active el Editor de Propiedades (doble clic sobre cualquier nudo o línea) y fíjese como los resultados del análisis se encuentran al final de la lista de propiedades.
- Cree una tabla de resultados seleccionando **Informe >> Tabla** (Report >> Table) o haciendo clic sobre el botón  en la barra de menú. La figura 2.7 muestra la tabla de resultados de éste ejemplo. Si aparece un caudal con signo negativo significa que el caudal circula en sentido contrario en el que ha sido dibujada la conducción.

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
Tube 1	99.17	1.40	9.63	Abierto
Tube 2	58.26	1.19	8.75	Abierto
Tube 3	30.91	0.63	2.49	Abierto
Tube 4	13.26	0.42	1.52	Abierto
Tube 5	14.09	0.80	7.77	Abierto
Tube 6	7.35	0.23	0.48	Abierto
Tube 8	11.83	0.67	5.50	Abierto
Tube 7	19.17	0.27	0.38	Abierto
Bomb 9	99.17	0.00	-48.32	Abierto
Válv 10	19.17	0.27	0.00	Activo
Válv 11	40.00	0.57	2.43	Activo

Figura 2.7. Tabla de Resultados.

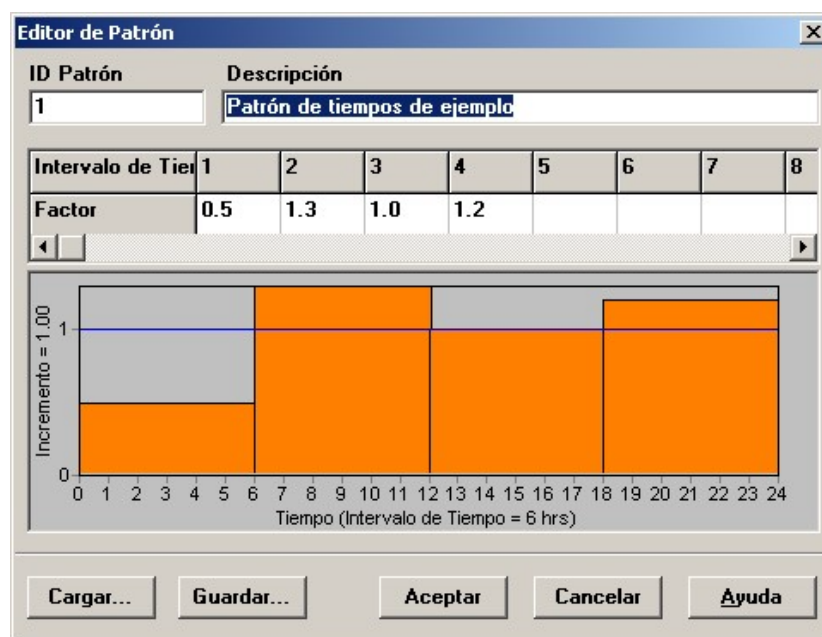
## 2.8. Análisis de Periodo Extendido.

Para hacer nuestro sistema más realista para el análisis de Periodo Extendido crearemos una Curva de Modulación (Time Pattern) para que la demanda en los nudos varíe de forma periódica a lo largo del día. Para éste ejemplo, utilizaremos un intervalo de 6 horas de tal forma que la demanda cambiará cuatro veces en un día. (Un intervalo de 1 hora es un valor típico y es el valor predeterminado asignado a los Proyectos nuevos.) Introduciremos el patrón de tiempos seleccionando Opciones-Tiempos (Options-Times) del Buscador de Datos (Data Browser), apretando el botón Editar del Buscador para activar el Editor de Propiedades (si no ha sido ya activado), y dando el valor de 6 a Intervalo del Patrón de Tiempos (Pattern Time Step) tal y como se muestra en Figura 2.8. Mientras tengamos las Opciones de Tiempo activadas también podemos cambiar la duración del análisis. Para utilizar un periodo de 3 días, marque 72 horas en Duración Total (Total Duration).

Propiedad	Hrs:Min
Duración Total	72
Intervalo Hidráulico	1:00
Intervalo Calidad	0:05
Intervalo Patrón	6
Tiempo Inicio Patrón	0:00

Figura 2.8. Opciones de Tiempo.

Para crear el patrón, seleccione Patrón (Pattern) en el Buscador (Browser) y haga clic en el botón de Añadir . Un nuevo Patrón 1 será creado y el Editor de Patrón aparecerá (ver Figura 2.9). Introduzca los Factores (Multiplier) 0.5, 1.3, 1.0, 1.2 para los intervalos de tiempo (Time Period) del 1 al 4 que dará una duración de 24 horas al patrón de consumos. Los factores se utilizan para modificar la demanda desde el nivel base para cada intervalo de tiempo. Desde que realizamos una simulación de 72 horas, el Patrón de Tiempos se activará en el inicio y al principio de cada intervalo de 24 horas.






**Figura 2.9.** Editor de Patrón.

Ahora necesitamos asignar la curva 1 como curva de modulación (Demand Pattern property) de todas las conexiones de nuestro sistema. Podemos utilizar una de las Opciones Hidráulicas de EPANET para evitar tener que editar cada conexión por separado. Si activa las Opciones Hidráulicas (Hydraulics Options) en el Editor de Propiedades (Property Editor) podrá ver que existe un campo llamado Patrón Predeterminado (Default Pattern). Dándole el valor de 1 hará que la Curva de Modulación (patrón de consumo de los nudos) de cada conexión sea el Patrón 1, mientras ningún otro patrón sea asignado a la conexión.

A continuación inicie el análisis seleccionando **Proyecto >> Iniciar Análisis** (Project >> Run Analysis) o presione el botón en la barra de herramientas. Para el análisis de Periodo Extendido hay diferentes formas de ver los resultados:

- La barra de desplazamiento en los Controles de Tiempo del Buscador se utiliza para situar el plano de red en diferentes momentos de tiempo. Intente hacerlo seleccionando la Presión

como parámetro de los nudos y el Caudal como parámetro de las líneas.

- Presione el botón  en el Buscador para empezar la animación temporal del plano y el botón  para pararla.
- Añade flechas de dirección de los caudales al plano, selecciona **Ver >> Opciones** (See >> Options), selecciona la página de Flechas de Caudal (Flow Arrows) desde Opciones de Plano (Map Options dialog), y comprueba el tipo de flecha deseado. A continuación inicia de nuevo la animación y veras como cambia la dirección del caudal en la tubería conectada al tanque y como éste se llena y se vacía.
- Crea un gráfico de tiempo para cada nudo y línea. Por ejemplo, para ver como el nivel de agua en el tanque cambia con el tiempo:
  1. Selecciona el tanque.
  2. Selecciona **Informe >> Gráfico** (Report >> Graph) o haz clic en el botón  en la barra de herramientas, se abrirá el cuadro de diálogo de Selección de Gráfica (Graph Selection dialog box).
  3. Selecciona el botón de Intervalos de Tiempo (Time Series button).
  4. Selecciona Altura (Head) como el parámetro a seguir.
  5. Haz clic en Aceptar (OK) para terminar con las opciones gráficas.

Se pueden editar opciones del gráfico como colores, escala o texto, haciendo clic con el botón derecho del ratón.

Nótese el comportamiento periódico del nivel de agua en el tanque a lo largo del tiempo (Figura 2.10).



**Figura 2.10.** Ejemplo de Gráfica de Evolución.

## 2.9. Análisis de Calidad del Agua.

Lo siguiente será aprender cómo podemos incluir un análisis de calidad del agua al análisis de nuestro sistema. El caso más simple es realizar el seguimiento del aumento de la edad del agua a lo largo del sistema y el tiempo. Para realizar éste análisis sólo tenemos que seleccionar Edad (Age) como Parámetro (Parameter property) en las Opciones de Calidad (Quality Options), selecciona la página de Datos (Data page) del Buscador (Browser), luego haz clic sobre el botón Editar del Buscador para que aparezca el Editor de Propiedades. Inicia el análisis y selecciona Edad como el parámetro a ver en el plano. Crea una Gráfica de Tiempos para Edad en el tanque. Fíjese que al contrario que el nivel del agua, 72 horas no es tiempo suficiente para que el tanque experimente un comportamiento periódico en la edad del agua. (La condición predeterminada es empezar en todos los nudos con una edad de 0.) Intente repetir la simulación utilizando una duración de 240 horas y asignando una edad inicial de 60 horas al tanque; asigne el valor de 60 a Calidad Inicial (Initial Quality) en el Editor de Propiedades para el tanque.

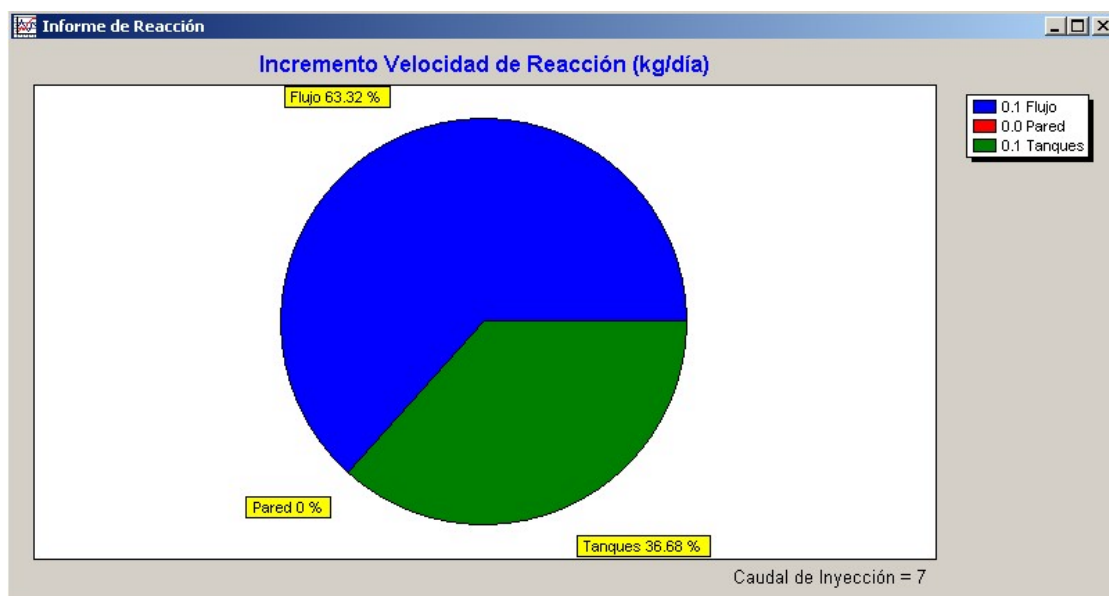
Finalmente mostramos como se puede simular el transporte y disminución del cloro a lo largo del sistema. Realice los siguientes cambios en los datos:

1. Seleccione Opciones-Calidad (Options-Quality) para editar desde el Buscador de Datos (Data Browser). Escriba la palabra Cloro (Chlorine) en el campo Parámetro (Parameter) del Editor de Propiedades.
2. Active Opciones-Reacciones (Options-Reactions) en el Browser. Asigne el valor de  $-1.0$  al Coeficiente Global de Flujo (Global Bulk Coefficient). Esto refleja la velocidad de disminución del cloro debido a las reacciones en el flujo. Ésta

velocidad se aplicará a todas las conducciones de la red. Puede asignar éste valor individualmente a cada conducción si lo requiere.

3. Seleccione el nudo del depósito y asígnele el valor de 1.0 a su Calidad Inicial (Initial Quality). Esto hará que la concentración de cloro entre continuamente en el sistema. (Devuelva el valor de 0 a la calidad inicial del Tanque si lo ha cambiado.)

Ahora arranque el ejemplo. Utilice los Controles de Tiempo (Time Controls) en el Buscador del Plano (Map Browser) para ver como los niveles de cloro cambian en función del tiempo y el lugar durante la simulación. Fíjese cómo para éste sencillo sistema, tan sólo las conexiones 8 y 7 muestran niveles bajos de cloro, esto es debido a que están siendo alimentadas con agua baja en cloro que proviene del tanque. Cree un Informe de Reacción seleccionando **Informe >> Reacción** (Report >> Reaction) desde el menú principal. Dicho informe será como el que se muestra en la Figura 2.11. Muestra cómo las pérdidas de cloro en las tuberías son mayores que en el tanque. El término “flujo” (“bulk”) se refiere a las reacciones que ocurren en el seno del flujo de agua mientras que el término “pared” (“wall”) se refiere a las reacciones que ocurren en la pared de la tubería. Ésta última es nula debido a que no se ha especificado ningún coeficiente de reacción de pared en el ejemplo.



**Figura 2.11.** Ejemplo de Informe de Reacción.

Hasta ahora tan sólo hemos visto una pequeña cantidad de aplicaciones que EPANET ofrece. Otras capacidades y aplicaciones del programa son:

- Editar una propiedad para un grupo de objetos que se encuentran en un área definida por el usuario.



- Utilizar los controles de estado para determinar el funcionamiento de la bomba a lo largo del tiempo o los niveles de agua en el tanque.
- Probar las diferentes Opciones de Plano, como hacer que el tamaño del nudo refleje el valor del parámetro que se estudia en ese momento.
- Poner un fondo (como un plano urbano) en el plano del sistema.
- Generar diferentes tipos de gráficos, tales como gráficos de perfil o de contorno.
- Añadir datos de calibración y generar un Informe de Calibración.
- Copiar el plano, un gráfico o un informe en el portapapeles o en un fichero.
- Guardar o recuperar el diseño de un escenario (por ejemplo, demanda actual de los nudos, valores de rugosidad de las tuberías, etc.).

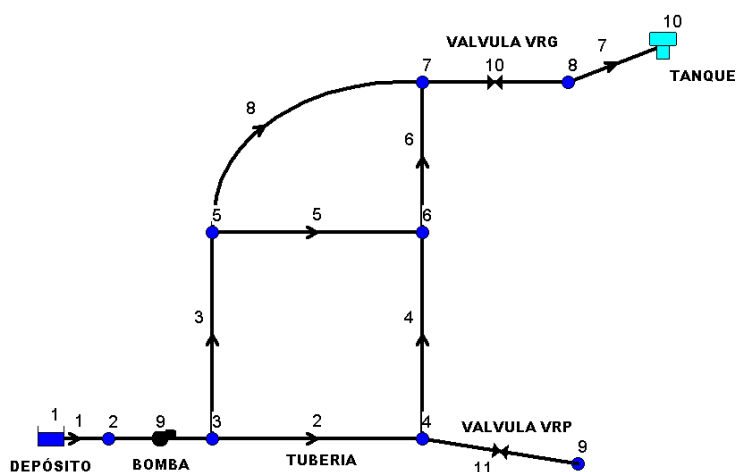


## CAPÍTULO 3. EL MODELO DEL SISTEMA

*Este capítulo nos habla de cómo EPANET modeliza los objetos físicos que constituyen el sistema de distribución así como sus parámetros operacionales. Los detalles de cómo esta información se introduce en el programa se verán en capítulos siguientes. De forma somera también se explicará cómo EPANET simula los comportamientos hidráulicos y de calidad del agua.*

### 3.1. Componentes Físicos.

EPANET modeliza un sistema de distribución de agua como una serie de líneas conectadas a nudos. Las líneas representan tuberías (pipes), bombas (pumps) y válvulas (valves) de control. Los nudos representan conexiones (junctions), tanques (tanks) y depósitos (reservoirs). La figura de abajo nos muestra cómo éstos objetos pueden ser conectados para representar una red.



**Figura 3.1** Componentes Físicos en un Sistema de Distribución de Agua.

#### 3.1.1. Conexiones.

Las conexiones son puntos en la red donde se unen las líneas o por donde entra o sale el agua de la red. La información básica que se requiere para las conexiones es:

- cota, normalmente sobre el nivel del mar
- demanda de agua (régimen de evacuación desde la red)
- calidad del agua inicial.

Los resultados que se obtienen de las conexiones a lo largo de toda la simulación son:

- altura piezométrica (energía interna por unidad de masa del fluido)
- presión
- calidad del agua.

Las conexiones también pueden:

- tener una demanda que varíe con el tiempo
- tener diferentes categorías de demanda asignadas
- tener una demanda negativa indicando que el agua entra en la red
- ser fuente de calidad del agua por donde los constituyentes entran en la red
- contener emisores (o aspersores) haciendo que el caudal descargado dependa de la presión.

### 3.1.2. Depósitos.

Los Depósitos son nudos que representan una fuente externa infinita o un sumidero para el sistema. Son utilizados para modelizar lagos, ríos, acuíferos subterráneos y conexiones a otros sistemas. Los Depósitos también pueden servir como fuente de Calidad de Agua.

Las principales características de un depósito son su altura piezométrica o altura (hydraulic head), que es igual a la altura por encima del nivel del mar si no se encuentra bajo presión y su calidad inicial para el análisis de Calidad del Agua.

Ya que el depósito es un punto frontera de la red, su altura y calidad del agua no pueden verse afectadas por lo que ocurra en el resto del sistema. Por lo tanto no se ordenan características de salida. A pesar de todo, podemos hacer variar su altura con el tiempo si le asignamos un patrón de tiempo (ver Patrones de Tiempo).

### 3.1.3. Tanque.

Los tanques son nudos con capacidad de almacenamiento, donde el volumen de agua almacenada puede variar con el tiempo a lo largo de la simulación. Las características principales para los tanques son:

- cota (donde el nivel de agua es cero)
- diámetro (o geometría si no es cilíndrico)
- valores iniciales máximos y mínimos del nivel de agua
- calidad del agua inicial.

Los principales valores que se piden a lo largo del tiempo son:

- nivel de la superficie libre de agua
- calidad del agua.

Los tanques operan limitados por sus niveles máximo y mínimo. EPANET detiene el aporte de caudal si el nivel del tanque está al mínimo y detiene el consumo de caudal si el nivel del tanque se encuentra en su máximo. Los tanques también pueden servir como fuente de calidad del agua.

### 3.1.4. Emisores.

Los emisores son mecanismos asociados a las conexiones que modelizan la descarga de caudal a la atmósfera a través de unos orificios. El caudal que atraviesa el emisor varía en función de la presión del nudo:

$$q = C p^\gamma$$

donde  $q$  = caudal,  $p$  = presión,  $C$  = coeficiente de caudal (descarga) , y  $\gamma$  = exponente de la presión. Para los pulverizadores y rociadores  $\gamma$  es igual a 0'5 y el fabricante normalmente da el valor del coeficiente de caudal en unidades de caudal/presión<sup>0.5</sup> y representa el flujo a través del mecanismo que genera una pérdida unitaria<sup>2</sup>.

Los emisores son usados para modelizar el caudal a través de rociadores o sistemas de irrigación en la red. También pueden ser usados para modelizar pérdidas en las conexiones entre tuberías (sí el coeficiente de descarga y el exponente de presión de rotura de la conexión o junta puede estimarse) o para modelizar una boca de extinción de fuegos (asegurar un caudal disponible a una presión mínima). En éste último caso se puede utilizar un coeficiente de descarga muy alto (por ejemplo, 100 veces el caudal máximo esperado) y modificar la altura de la conexión para incluir la carga equivalente debida a la existencia de ésta boca antiincendios. EPANET

---

<sup>2</sup> NdT. En el caso de emplear en EPANET el juego de unidades correspondiente al sistema internacional (SI) el caudal se expresa en l/s y la presión en mca. Por ello el coeficiente de caudal representa el caudal que puede atravesar el dispositivo (en l/s), generando una pérdida de 1 mca.

considera los emisores como una característica de las conexiones y no como un elemento más en la red.

### 3.1.5. Tuberías.

Las tuberías son líneas que llevan el agua de un punto de la red a otro. EPANET asume que todas las tuberías se encuentran completamente llenas en todo momento. La dirección de caudal va desde el extremo con altura piezométrica (energía interna por unidad de peso del agua) mayor hacia el extremo de la conducción con menor altura, siguiendo siempre el sentido de la disminución de la altura. Los parámetros hidráulicos más importantes para las tuberías son:

- nudos de entrada y salida
- diámetro
- longitud
- coeficiente de rugosidad (para determinar pérdidas)
- estado (abierta, cerrada o con una válvula).

Los parámetros de estado de las tuberías se emplean para contemplar elementos tales como válvulas de corte o seccionamiento o válvulas de retenciónson.

Las características de calidad del agua para las tuberías consisten en:

- coeficiente de reacción del flujo (bulk reaction coefficient)
- coeficiente de reacción de pared (wall reaction coefficient).

Estos coeficientes se explican más detenidamente en la Sección 3.4.

Los principales valores que podemos obtener son:

- caudal
- velocidad
- pérdidas
- factor de fricción de Darcy-Weisbach
- variación de la velocidad de reacción (a lo largo de su longitud)
- variación de la calidad del agua (a lo largo de su longitud).

Las pérdidas de carga en la conducción <sup>3</sup>debido a la rugosidad de las paredes de la tubería pueden medirse utilizando tres métodos diferentes:

- método de Hazen-Williams
- método de Darcy-Weisbach
- método de Chezy-Manning

El método de Hazen-Williams es la más utilizado en el ámbito anglosajón. No se puede usar con otro líquido que no sea agua y fue desarrollada originalmente únicamente para régimen turbulento. El método de Darcy-Weisbach es el más exacto teóricamente. Se puede aplicar para cualquier líquido en cualquier régimen que se encuentre. El método de Chezy-Manning es la más utilizado para conductos funcionando en lámina libre.

Cada método utiliza la siguiente ecuación para calcular las pérdidas entre el nudo inicial y el nudo final de la tubería:

$$h_L = Aq^B$$

donde  $h_L$  = pérdidas (Longitud),  $q$  = caudal (Volumen/Tiempo),  $A$  = coeficiente de resistencia, y  $B$  = exponente del caudal. La Tabla 3.1 contiene las expresiones para el cálculo del coeficiente de resistencia y los valores del exponente del caudal para cada uno de los métodos. Cada método utiliza un coeficiente de rugosidad diferente que debe ser estimado empíricamente. La Tabla 3.2 contiene valores típicos de éstos coeficientes para diferentes tipos de materiales. Hay que tener en cuenta que el coeficiente de rugosidad de una tubería cambia a lo largo del tiempo.

Con el método de Darcy-Weisbach, EPANET utiliza diferentes expresiones correspondientes a las distintas zonas en las que el factor de fricción  $f$  presenta comportamientos distintos. Así, dependiendo del régimen de trabajo:

- Para régimen laminar ( $Re < 2,000$ ) utiliza la fórmula de Hagen-Poiseuille.
- Para régimen turbulento ( $Re > 4,000$ ) utiliza la aproximación de Swamee y Jain de la ecuación de Colebrook-White.

---

<sup>3</sup> NdT: EN la version en ingles del manual se hace referencia al hecho de que las pérdidas son debidas a la rugosidad de las paredes del conducto. No obstante, es preferible considerar que las pérdidas en las conducciones vienen condicionadas por la presencia de esta rugosidad, si bien se originan por el rozamiento viscoso las capas de fluido entre sí.

- Para flujo transitorio ( $2,000 < Re < 4,000$ ) utiliza una interpolación cúbica del ábaco de Moody.

Consulte el Apéndice D para ver las ecuaciones que se utilizan.

**Tabla 3.1** Cálculo de pérdidas en tuberías (pérdidas en pies y caudal en cfs)

<i>Formula</i>	<i>Coefficiente de Resistencia (A)</i>	<i>Exponente de Caudal (B)</i>
Hazen-Williams	$4.727 C^{-1.852} d^{-4.871} L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0252 f(\epsilon, d, q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$4.66 n^2 d^{-5.33} L$	2

Notas: C = coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams  
 $\epsilon$  = coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach (ft)  
 f = factor de fricción (depende de  $\epsilon$ , d, y q)  
 n = coeficiente de rugosidad de Manning  
 d = diámetro de la tubería (ft)  
 L = longitud de la tubería (ft)  
 q = caudal (cfs)

**Tabla 3.2** Coeficiente de Rugosidad para diferentes materiales.

<i>Material</i>	<i>Hazen-Williams C (adimensional)</i>	<i>Manning's n (adimensional)</i>
Hierro Colado	130 – 140	0,012 - 0,015
Hormigón o Revestido de Hormigón	120 – 140	0,012 - 0,017
Hierro galvanizado	120	0,015 - 0,017
Plástico	140 – 150	0,011 - 0,015
Acero	140 – 150	0,015 - 0,017
Arcilla Vitrificada	110	0,013 - 0,015

<i>Material</i>	<i>Darcy-Weisbach <math>\epsilon</math> (mm)</i>
PVC y PE	0,0025
Fibrocemento	0,025
Fundición revestida	0,03
Fundición no revestida	0,15
Hormigón armado	0,1
Hormigón liso	0,025



Las tuberías pueden abrirse o cerrarse en determinados instantes de tiempo o cuando existan unas condiciones específicas, como por ejemplo cuando el nivel del tanque cae o llega a determinado punto, o cuando la presión en los nudos cae o llega a determinados valores. Ver Controles en la Sección 3.2.

### 3.1.6. Pérdidas Menores.

Las pérdidas menores (o pérdidas locales) se deben a la existencia de turbulencias en codos y conexiones. La importancia de incluir éstas pérdidas depende de la distribución en planta de la red y el grado de exactitud requerido. Pueden contabilizarse asignando a la tubería un coeficiente de pérdidas menores. Las pérdidas menores se calculan multiplicando éste coeficiente por la energía cinética de entrada en la tubería, es decir,

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

donde  $K$  = coeficiente de pérdidas menores,  $v$  = velocidad del flujo (Longitud/Tiempo), y  $g$  = aceleración de la gravedad (Longitud/Tiempo<sup>2</sup>). La Tabla 3.3 muestra los coeficientes de pérdidas menores de algunos conectores.

**Tabla 3.3** Coeficientes de Pérdidas Menores.

<i>Conectores</i>	<i>Coficiente de pérdidas</i>
Válvula de Globo, totalmente abierta	10.0
Válvula de Ángulo, totalmente abierta	5.0
Válvula de Retención de Clapeta, totalmente abierta	2.5
Válvula de Compuerta, totalmente abierta	0.2
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de radio grande	0.6
Codo a 45°	0.4
Codo cerrado con inversión del flujo	2.2
Te estándar – dirección de paso	0.6
Te estándar – dirección desvío	1.8
Entrada Recta	0.5
Salida brusca	1.0

### 3.1.7. Bombas.

Las bombas son elementos que aportan energía al fluido incrementando su altura piezométrica. Las características más importantes para una bomba son

su entrada y salida y su curva característica (relación entre la altura y caudal de la bomba).<sup>4</sup>

Los parámetros de salida más importantes son el caudal y la carga. El caudal fluye unidireccionalmente dentro de la bomba y EPANET no permite que una bomba trabaje fuera del rango que determina su curva característica.

También se puede considerar la variación de velocidad de las bombas, la cual puede fijarse y modificarse bajo las condiciones descritas anteriormente. Por definición, la curva característica que aporta el programa tiene un corrector de velocidad de 1. Si se dobla la velocidad de bomba, entonces el corrector (relative setting) será de 2; si la velocidad es igual a la mitad, el corrector tendrá el valor de 0.5. Cambiando la velocidad se modifica la posición y la curvatura de la curva característica (ver la sección de curvas características).

Al igual que las tuberías, las bombas pueden activarse (arranque) y desactivarse (desconectarse) en determinados momentos establecidos por el usuario o bien cuando existan ciertas condiciones en la red. El modo de operación de la válvula puede describirse asignándole un patrón de tiempos con los correctores de velocidad. EPANET también puede tener en cuenta el consumo de energía y el coste de la bomba. A cada bomba se le puede signar una curva de eficiencia y una lista de precios de energía. Si no se dispone de estos valores entonces utiliza unas condiciones energéticas generales.

El caudal que atraviesa una bomba es unidireccional. Si las condiciones del sistema requieren que la bomba trabaje fuera de sus posibilidades, EPANET intentará desconectarla. Si el sistema requiere un caudal mayor que el que puede trasegar, EPANET extrapolará una curva para el caudal requerido aunque produzca una altura negativa. En ambos casos aparecerá un mensaje de advertencia.

### 3.1.8. Válvulas.

Las válvulas son líneas que limitan la presión y el caudal en puntos específicos de la red. Sus principales parámetros característicos son:

- Nudos de entrada y salida
- Diámetro

---

<sup>4</sup> En este punto la versión original del manual hace referencia a la capacidad de representar la bomba únicamente especificando la potencia de la misma. No obstante, esta forma de modelar el comportamiento de la bomba no parece adecuada, de ahí que no se haya incluido dicha referencia en la traducción.

- consigna (tarado)
- estado

Los valores de salida suelen ser el caudal y las pérdidas.

Los diferentes tipos de válvulas que incluye 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 Controladoras de Caudal (VCQ en inglés FCV)
- Válvulas Reguladoras por Estrangulación (VRG en inglés TCV)
- Válvulas de Propósito General (VPG en inglés GPV).

Las VRPs limitan la presión en un punto de la red de tuberías. EPANET diferencia tres estados en los que puede trabajar:

- parcialmente abierta (es decir, activa) para mantener una presión aguas abajo siempre que la presión aguas arriba sea superior a esta
- totalmente abierta cuando la presión aguas arriba está por debajo de la de tarado
- cerrada, si la presión aguas abajo es superior a la presión aguas arriba, para impedir el flujo inverso.

Las VSPs mantienen una presión determinada en un punto específico de la red de tuberías. EPANET diferencia modos de funcionamiento:

- parcialmente abierta para mantener una presión de tarado aguas arriba cuando la presión aguas abajo es menor
- totalmente abierta si la presión aguas abajo es superior a la de tarado
- cerrada si la presión aguas abajo es superior a la presión aguas arriba para impedir el flujo inverso.

Las VRCs fuerzan a que la caída de presión en la válvula sea siempre un valor predeterminado. El caudal que atraviesa la válvula puede ir en ambas direcciones. Las VRCs no son mecanismos físicos verdaderos pero pueden usarse para modelizar situaciones donde exista un aumento de presión particular conocido.

Las VCQs limitan el caudal a un valor específico. El programa mostrará un mensaje de advertencia si el caudal no se puede mantener sin un aporte de presión en la válvula (es decir, el caudal no se podrá mantener con la válvula totalmente abierta).

Las VRGs simulan una válvula parcialmente cerrada ajustando adecuadamente el valor del coeficiente de pérdidas menores. Normalmente los fabricantes proporcionan una relación entre el grado de cierre de la válvula y el coeficiente de pérdidas resultante.

Las VPGs se utilizan para representar una línea con un comportamiento diferente y una relación caudal - pérdidas que no abarcan las fórmulas hidráulicas estándar. Se utilizan para modelizar turbinas, pozos de aspiración o válvulas para reducir el caudal y controlar el flujo inverso.

Las válvulas de compuerta y las válvulas de retención, que cierran o abren completamente las tuberías, no están consideradas como elementos separados sino que se incluyen como una característica de la tubería en la que se encuentran.

Cada tipo de válvula tiene un parámetro consigna que define su punto de operación (presión para las VRPs, VSPs, y VRCs; caudal para las VCQs; coeficiente de pérdidas para las VRGs, y curva característica de pérdidas para las VPGs).

Las válvulas pueden caracterizar su estado de control especificando si están completamente abiertas o completamente cerradas. El estado de una válvula y su consigna o tarado puede cambiarse durante la simulación utilizando los controles de estado.

Debido a su modelación, cuando quiera incluir una válvula en la red debe seguir las siguientes instrucciones:

- las VRPs, VSPs o VCQs no pueden conectarse directamente a un depósito o tanque (utilice una tubería para separarlos)
- las VRPs no pueden compartir el mismo nudo aguas abajo o conectarse en serie
- dos VSPs no pueden compartir el mismo nudo aguas arriba ni conectarse en serie
- una VSP no puede estar conectada al nudo aguas abajo de una VRP.

## 3.2. Componentes No Físicos.

Además de los componentes físicos, EPANET utiliza tres tipos de objetos informativos – curvas, patrones, y controles – que describen el comportamiento y los aspectos operacionales de un sistema de distribución.

### 3.2.1. Curvas.

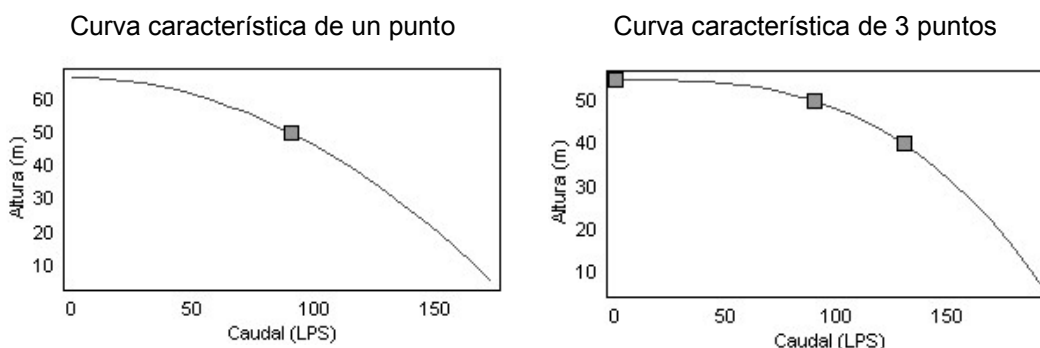
Las Curvas son objetos que representan la relación existente entre pares de datos por medio de dos magnitudes o cantidades. Dos o más objetos pueden formar parte de la misma curva. Un modelo de EPANET puede utilizar los siguientes tipos de curvas:

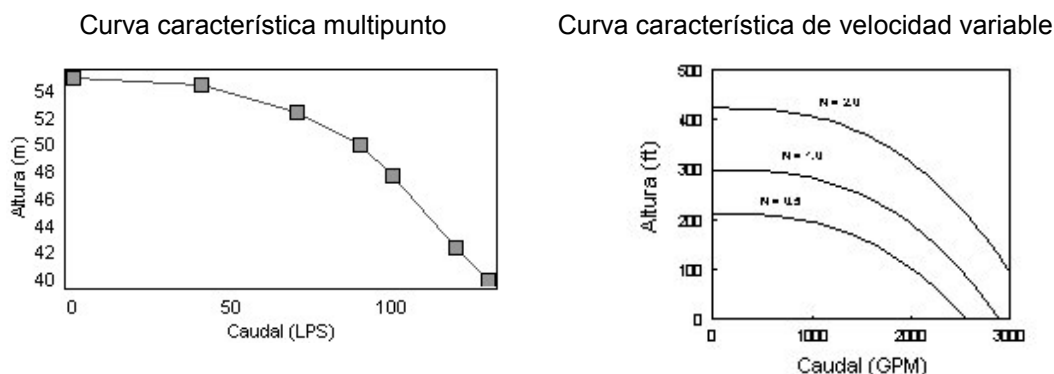
- Curva de Característica de una Bomba (Pump Curve)
- Curva de Rendimiento (Efficiency Curve)
- Curva de Volumen (Volume Curve)
- Curva de Pérdidas (Head Loss Curve)

#### Curva Característica de una Bomba

La curva característica representa la relación entre la altura y el caudal que puede desarrollar a su velocidad nominal. La altura es la energía que la bomba aporta al agua y se representa en el eje vertical (Y) en metros (pies). El Caudal se representa en el eje horizontal (X) en unidades de caudal. Una curva característica válida debe disminuir la altura a medida que aumenta el caudal.

EPANET utilizará diferentes tipos de curvas características dependiendo del número de puntos suministrados (ver Figura 3.2):





**Figura 3.2** Ejemplo de Curvas Características

*Curva de Un sólo Punto (Single-Point Curve)* – Ésta curva queda definida con un sólo punto altura-caudal que representa el punto de funcionamiento de la bomba. EPANET añade dos puntos más suponiendo que el valor de la altura a caudal cero es del 133% de la altura nominal y que el caudal máximo a altura cero es el doble del caudal nominal. Y así se trabaja con una curva de tres puntos.

*Curva de Tres Puntos (Three-Point Curve)* – Una curva de tres puntos queda definida con tres puntos de operación: punto de Caudal Mínimo (caudal y altura en condiciones de caudal mínimo o cero), punto de Diseño (caudal y altura en el punto de funcionamiento), y el punto de Caudal Máximo (caudal y altura en condiciones de máximo caudal). EPANET intenta encontrar una función continua de la forma:

$$h_g = A - Bq^C$$

A través de los tres puntos se define la curva característica. En ésta función,  $h_g$  = altura piezométrica,  $q$  = caudal, y  $A$ ,  $B$ , y  $C$  son constantes.

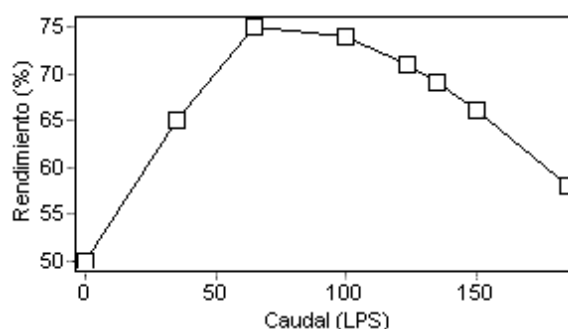
*Curvas Multipunto (Multi-Point Curve)* – Una curva multipunto es definida por cuatro o más pares de puntos. EPANET crea una curva completa uniendo los puntos con segmentos rectos (polilínea).

Para bombas de velocidad variable, la curva característica cambia a medida que la velocidad cambia. Las relaciones entre el Caudal ( $Q$ ) y la Altura ( $H$ ) a las velocidades  $N_1$  y  $N_2$  son

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

### Curva de Rendimiento

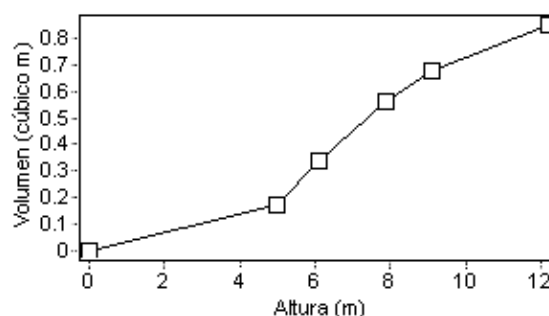
La Curva de Rendimiento determina el rendimiento de la bomba (eje Y en tanto por ciento) como función del caudal de la bomba (eje X en unidades de caudal). Un ejemplo de curva de rendimiento se muestra en la Figura 3.3. Representa el rendimiento total, es decir, contempla tanto el rendimiento mecánico de la bomba como el rendimiento eléctrico del motor de la misma. Ésta curva se usa únicamente para cálculos energéticos. Si no determinamos la curva de rendimiento para una bomba se usará una curva de rendimiento genérica prefijada.



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

### Curva de Volumen

La Curva de Volumen determina como el volumen de agua en el tanque (eje Y en metros cúbicos o pies cúbicos) varía en función del nivel de agua (eje X en metros o pies). Se usa cuando es necesario representar exactamente tanques cuya sección transversal varía con altura. Los valores mínimos y máximos de niveles de agua representados por la curva deben de ser los niveles mínimo y máximos entre los que trabaja el tanque. Un ejemplo de la curva de volumen de un tanque se muestra a continuación.



**Figura 3.4** Curva de Volumen de un Tanque

### Curva de Pérdidas

La Curva de Pérdidas se usa para representar las pérdidas (eje Y en unidades de presión, pies o metros) en una Válvula de Propósito General (VPG) en

función del caudal (eje X en unidades de caudal). Esto nos da la oportunidad de modelizar dispositivos y situaciones con una relación de pérdidas-caudal específica, tales como válvulas de control de flujo o de control de flujo inverso, turbinas, y descenso dinámico del nivel en pozos.

### 3.2.2. Patrones de Tiempo.

Un Patrón de Tiempo (Time Pattern) es una colección de factores (multipliers) que pueden aplicarse a una cantidad para representar que varía a lo largo del tiempo. Demandas en los nudos, alturas de depósitos, programas de bombas (pump schedules), y fuentes de calidad de agua pueden tener patrones de tiempo asociados. El intervalo de tiempo utilizado en todos los patrones es un valor fijo, determinado con las Opciones de Tiempo del proyecto (ver Sección 8.1). Dentro de éste intervalo la cantidad asociada permanece constante, igual al producto de su valor nominal y el factor en ese periodo de tiempo. Además todos los patrones deben utilizar el mismo intervalo de tiempo, cada uno puede tener un diferente número de periodos. Cuando el reloj de la simulación exceda el número de periodos en el patrón, el patrón se reiniciará de nuevo al primer periodo.

Como ejemplo de cómo trabaja un patrón de tiempo consideramos un nudo conexión con una demanda media de 20l/s. Suponiendo un intervalo de tiempo de 4 horas y un patrón con los siguientes factores específicos de la demanda en el nudo:

<b>Periodo</b>	1	2	3	4	5	6
<b>Factor</b>	0.5	0.8	1.0	1.2	0.9	0.7

Entonces a lo largo de la simulación, la demanda real en el nudo será de:

<b>Horas</b>	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
<b>Demanda</b>	10	16	20	24	18	14

### 3.2.3. Controles.

Los Controles (Controls) son consignas que determinan como la red trabaja a lo largo del tiempo. En ellos se especifica el comportamiento de las líneas seleccionadas como una función del tiempo, niveles de agua del tanque y presiones en puntos determinados del sistema. Existen dos categorías de controles que pueden utilizarse:

- Controles Simples (Simple Controls)
- Controles Programados (Rule-Based Controls)



## Controles Simples

Los Controles Simples cambian el estado o el tarado de un elemento basándose en:

- el nivel de agua en el tanque,
- la presión en una conexión,
- el tiempo de simulación,
- hora diaria.

Existen tres formatos para escribir un informe, y son los siguientes:

```
LINK x Estado IF NODE y ABOVE/BELOW z
LINK x Estado AT TIME t
LINK x Estado AT CLOCKTIME c AM/PM
```

donde:

- X = Etiqueta de identificación (ID) del elemento,  
 Estado = ABIERTO (OPEN) o CERRADO (CLOSED),  
 velocidad de una bomba, o el tarado de una válvula de control,  
 Y = Etiqueta de identificación (ID) del nudo,  
 Z = Presión en la conexión o nivel de agua para un tanque,  
 T = Tiempo desde el inicio de la simulación en horas decimales o en horas: notación en minutos,  
 C = Reloj de 24 horas.

Algunos ejemplos de controles simples son:

<i>Informe de Control</i>	<i>Significado</i>
LINK 12 CLOSED IF NODE 23 ABOVE 20	(Cierra la línea 12 cuando el nivel en el tanque 23 supere los 20 m.)
LINK 12 OPEN IF NODE 130 BELOW 30	(Abre la línea 12 si la presión en el nudo 130 es menor de 30 mca)
LINK 12 1.5 AT TIME 16	(actualiza la velocidad de la bomba 12 a 1.5 a las 16 horas en la simulación)
LINK 12 CLOSED AT CLOCKTIME 10 AM	(la línea 12 se cierra a las 10 AM y se abre a las 8 PM a lo largo de la simulación)
LINK 12 OPEN AT CLOCKTIME 8 PM	

No hay límite en el número de Controles Simples a utilizar.

**Nota:** Los controles de nivel se representan como niveles de agua en el tanque y no con alturas piezométricas.

**Nota:** La utilización de un par de controles de presión para abrir y cerrar un elemento puede hacer que el sistema se vuelva inestable si las características de presión están muy cercas unas de otras. En éste caso lo mejor es utilizar un par de controles programados para evitar la aparición de inestabilidades.

### Controles Programados.

Los Controles Programados permiten determinar el estado de un elemento y su caracterización por medio de una combinación de condiciones que podrían existir en el sistema después de que el estado inicial hidráulico este programado. A continuación puede ver algunos ejemplos de Controles Programados:

*Ejemplo 1:* Éste conjunto de reglas cierra una bomba y abre una tubería alternativa (by-pass) cuando el nivel en el tanque sobrepasa cierto valor y hace lo contrario cuando el nivel está 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:* Éstas reglas modifican el nivel del tanque al cual se tiene que activar la bomba dependiendo de la hora diaria.

```
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 de los formatos utilizados en los Controles Programados puede encontrarse en el Apéndice C, bajo el título [REGLAS] ([RULES]).

### 3.3. Modelo de Simulación Hidráulica.

El modelo de simulación hidráulica de EPANET calcula alturas (heads) en conexiones y caudales (flows) en líneas para un conjunto fijo de niveles de depósitos, niveles de tanques, y demandas de agua a lo largo de una sucesión de instantes temporales. Desde un instante de tiempo los siguientes niveles de depósitos y demandas en las conexiones son actualizadas de acuerdo a los patrones de tiempo que se les ha asociado mientras que los niveles del tanque son actualizados utilizando los datos solución de caudal. La solución de altura y caudal en un determinado punto a lo largo del tiempo supone el cálculo simultáneo de la conservación del caudal en cada conexión y la relación de pérdidas que supone su paso a través de los elementos de todo el sistema. Éste proceso, conocido como “equilibrado hidráulico de la red”, requiere métodos iterativos de resolución de ecuaciones no lineales. EPANET utiliza el “Algoritmo del Gradiente” con éste propósito. Consultar el Apéndice D para los detalles.

El intervalo de tiempo utilizado para la simulación de periodo extendido (Extended Period Simulation, o SPE en español) puede modificarse por el usuario. Un valor bastante común es 1 hora. Pueden darse intervalos de cálculo inferiores al normal cuando ocurra alguno de los sucesos:

- cuando ocurre el siguiente periodo de obtención de resultados
- cuando ocurre el siguiente periodo del patrón de tiempos
- cuando se produce el llenado o vaciado de un tanque
- cuando se activa un control simple o un control programado.

### 3.4. Modelo de Simulación de la Calidad del Agua.

#### 3.4.1. Transporte Básico.

El simulador de calidad del agua de EPANET utiliza el Lagrangiano para aproximar el movimiento del agua a volúmenes discretos de agua que se mueven a lo largo de las tuberías y se mezclan en las conexiones en intervalos de tiempo de longitud fija. Éstos intervalos de tiempo para la calidad del agua son mucho más cortos que los intervalos de tiempo del modelo hidráulico (por ejemplo, minutos frente a horas) para acomodarlos dentro de los intervalos de tiempo de desplazamiento dentro de las tuberías.

El método controla la concentración y el tamaño de las series de segmentos de agua sin solapar que llenan cada línea del sistema. Como el tiempo pasa, el tamaño de los segmentos aguas arriba en una línea se incrementa a medida que el agua entra en la línea mientras que una pérdida igual en el tamaño se produce aguas abajo según el agua abandona la línea. El tamaño de los segmentos entre la “entrada” y la “salida” no cambia.

Para cada periodo de calidad del agua, el contenido de cada segmento está sujeto a una reacción, un incremento de la cantidad de la masa total y del volumen de caudal que entra en cada nudo se mantiene, y las posiciones de los segmentos son actualizadas. Las nuevas concentraciones en los nudos son entonces calculadas, lo cual incluye las contribuciones de cualquier fuente externa. Las concentraciones en los tanques de almacenaje son actualizadas en función del tipo de mezclado que se ha elegido (ver a continuación). Finalmente, un nuevo segmento aparecerá al final de cada línea que recibe caudal desde un nudo si la nueva calidad del nudo difiere por la utilización de una tolerancia específica desde él mismo hasta el último segmento de la línea.

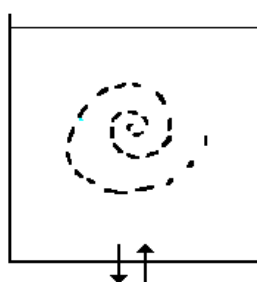
Inicialmente cada tubería de la red consiste en un segmento cuya calidad es igual a la calidad inicial asignada al nudo aguas arriba. En el caso de que se produzca la inversión de la dirección del caudal en una tubería, las parcelas de tubería se reordenan de delante a atrás.

### 3.4.2. Mezclado en Tanques de Almacenamiento.

EPANET puede utilizar cuatro modelos diferentes para caracterizar el mezclado dentro de los tanques tal y como se ilustra en la Figura 3.5:

- (A) Mezclado Completo
- (B) Dos Compartimentos de Mezclado
- (C) FIFO
- (D) LIFO

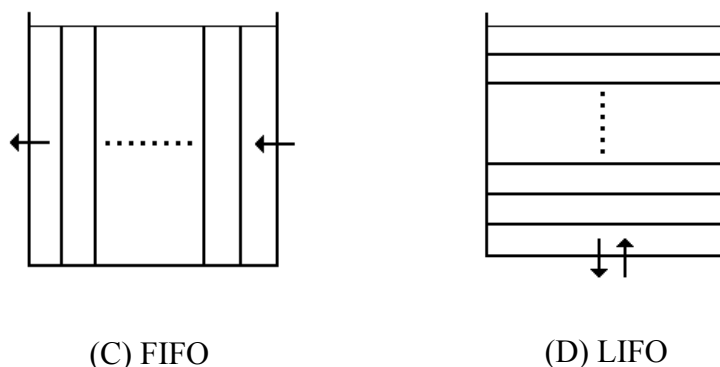
Los diferentes modelos pueden ser usados en diferentes tanques dentro del sistema.



(A) Mezclado Completo



(B) Mezclado en dos compartimentos



**Figura 3.5** Modelos de Mezclado en Tanques.

El modelo de Mezclado Completo (Figura 3.5(a)) supone que toda el agua que entra en el tanque se mezcla completa e instantáneamente con el agua que ya había en el mismo. Ésta es la forma más sencilla de mezclado, no requiere parámetros extra para describirla, y es una buena aproximación para un gran número de aplicaciones que trabajan con sistemas de vaciado y llenado.

El modelo de Mezclado de Dos Compartimentos (Figura 3.5(b)) divide el volumen de almacenaje en dos compartimentos, suponiendo que ambos están completamente mezclados. Se supone que las tuberías de entrada y salida del tanque se encuentran conectadas al primer compartimento. El agua que entra en el tanque se mezcla con el agua que había en el primer compartimento. Si éste compartimento está lleno, el caudal excedente se envía al segundo compartimento donde se mezcla completamente con el agua ya almacenada en el mismo. Cuando el agua deja el tanque, sale del primer compartimento, el cual está lleno, y recibe una cantidad equivalente de agua desde el segundo para completar la diferencia. El primer compartimento es capaz de simular pequeños circuitos entre la entrada y la salida mientras que el segundo puede representar zonas muertas. El usuario debe determinar un único parámetro, el cual es la fracción del volumen total del tanque reservado para el primer compartimento.

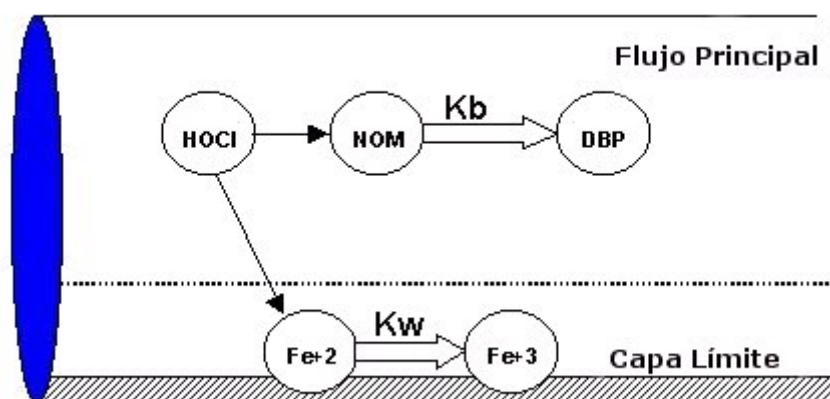
El modelo FIFO (Figura 3.5(c)) supone que no existe ningún mezclado de agua mientras ésta se encuentre en el tanque. Las parcelas de agua se mueven a través del tanque de forma ordenada de tal forma que la primera en entrar será la primera en salir. Físicamente hablando, éste modelo es muy apropiado para tanques con desviadores que trabajan con caudal entrando y saliendo simultáneamente. No hay ningún parámetro adicional necesario para la implementación de éste modelo.

El modelo LIFO (Figura 3.5(d)) también supone que no existe mezclado entre las diferentes parcelas de agua que entran en el tanque. Sin embargo al contrario que el modelo FIFO, las parcelas se amontonan unas sobre otras, en un tanque donde el agua entra y sale por el fondo. Éste tipo de modelo debe aplicarse para caracterizar depósitos verticales, largos y delgados con

una tubería de entrada/salida en la parte más baja y con un caudal de entrada bajo. No requiere parámetros adicionales.

### 3.4.3. Cinética de Reacción.

EPANET puede considerar el incremento o pérdida de una sustancia por reacción a medida que circula por el sistema de distribución. Para ello, se necesita conocer el coeficiente al que reacciona la sustancia y de que modo depende de la concentración de la misma. Las reacciones pueden ocurrir tanto en el seno del agua como en las paredes de las tuberías. Esto se ilustra en la Figura 3.6. En éste ejemplo, el cloro ( $\text{HOCl}$ ) reacciona con la materia orgánica (NOM) en el seno del agua y también es transportado a lo largo de una capa límite para oxidar el hierro ( $\text{Fe}$ ) existente debido al desgaste de la pared de la tubería. Las reacciones en el seno del agua también pueden ocurrir dentro de tanques. EPANET permite tratar éstas dos zonas de reacción de forma separada.



**Figura 3.6** Zonas de Reacción dentro de una Tubería.

#### Reacciones en el Seno del Agua

EPANET modeliza las reacciones que ocurren en el seno del agua con ecuaciones cinéticas polinómicas, donde la velocidad de reacción ( $R$  en masa/volumen/tiempo) es una función de la concentración tal que

$$R = K_b C^n$$

Aquí  $K_b$  = coeficiente de velocidad de reacción en el seno,  $C$  = concentración reactiva (masa/volumen), y  $n$  = orden de reacción.  $K_b$  tiene unidades de concentración elevadas a  $(1-n)$  dividida por el tiempo. Es positivo cuando la sustancia aumenta y negativo en caso contrario.

EPANET también puede modelizar reacciones donde existe un límite de concentración debido al último aumento o disminución de la sustancia. En éste caso la expresión de la velocidad es

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

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

donde  $C_L$  = concentración límite. Así pues existen tres parámetros ( $K_b$ ,  $C_L$ , y  $n$ ) que se utilizan para caracterizar la velocidad de reacción en el seno del agua. A continuación se incluyen algunos casos especiales de modelos cinéticos bien conocidos (Ver Apéndice D para más ejemplos):

<i>Modelo</i>	<i>Parámetros</i>	<i>Ejemplos</i>
Disminución de Primer Orden	$C_L = 0, K_b < 0, n = 1$	Cloro
Crecimiento de Saturación de Primer Orden	$C_L > 0, K_b > 0, n = 1$	Trihalometanos
Cinética de Orden Cero	$C_L = 0, K_b <> 0, n = 0$	Edad del Agua
No hay Reacción	$C_L = 0, K_b = 0$	Seguimiento del Flúor

El  $K_b$  para las reacciones de primer orden puede estimarse poniendo una muestra de agua en una serie de botellas de cristal no reactivo y analizando el contenido de cada botella en diferentes instantes de tiempo. Si la reacción es de primer orden, entonces representando el logaritmo ( $C_t/C_0$ ) en función el tiempo obtendremos una recta, donde  $C_t$  es la concentración en el instante  $t$  y  $C_0$  es la concentración en  $t=0$ .  $K_b$  queda entonces determinado como la pendiente de la recta.

El coeficiente de reacción en el seno del agua normalmente aumenta con el aumento de la temperatura. Analizando diferentes botellas de muestras a diferentes temperaturas obtendremos una relación suficientemente aproximada de como varía éste coeficiente con la temperatura.

### Reacciones en la Pared

La velocidad de reacción en la pared de la tubería puede considerarse que depende de la concentración en el seno del agua utilizando una expresión de la forma

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

donde  $K_w$  = coeficiente de reacción en la pared y  $(A/V)$  = superficie de área por unidad de volumen dentro de la tubería (igual a 4 dividido por el diámetro de la tubería). El último término convierte la masa de reactivo por unidad de área de pared a masa de reactivo por unidad base de volumen. EPANET limita la elección del orden de reacción en la pared a 0 ó 1, así que las unidades de  $K_w$  son masa/área/tiempo o longitud/tiempo, respectivamente. Al igual que  $K_b$ ,  $K_w$  debe suministrarse al programa por el usuario. El  $K_w$  de primer orden puede tomar valores desde 0 hasta, como mucho, 1.5 m/día.

$K_w$  se ajustará a cierta cantidad dependiendo del límite de transferencia de masas debido al movimiento de reactivos y productos entre el seno del flujo y la pared. EPANET hace esto automáticamente, basándose en un ajuste de la difusividad molecular de la sustancia en cuestión y el número de Reynolds del flujo. Ver Apéndice D para detalles. (Dando el valor de 0 a la difusividad molecular los efectos de transferencia de masa se ignorarán.)

El coeficiente de reacción de pared puede depender de la temperatura y también puede ser correlativo con la edad de la tubería y el material. Es bien sabido que con la edad la rugosidad de las tuberías metálicas tiende a incrementarse debido a incrustaciones y tuberculación de productos corrosivos en la pared de las mismas. Éste incremento de la rugosidad se refleja en un menor factor C de Hazen-Williams o un mayor coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach, produciéndose grandes pérdidas por fricción por el paso del agua a través de la tubería.

Existen ciertas evidencias que hacen suponer que el mismo proceso que produce el incremento de la rugosidad de las tuberías con la edad también tiende a aumentar la reactividad de la pared con algunas especies químicas, particularmente cloro y otros desinfectantes. EPANET puede hacer que la  $K_w$  de cada tubería sea una función del coeficiente utilizado para representar su rugosidad. Se aplicará una función diferente dependiendo de la ecuación utilizada para el cálculo de las pérdidas a lo largo de la tubería:

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

donde  $C$  = factor C de Hazen-Williams,  $e$  = rugosidad de Darcy-Weisbach,  $d$  = diámetro de la tubería,  $n$  = coeficiente de rugosidad de Manning, y  $F$  = coeficiente reacción, coeficiente de rugosidad de la tubería. El coeficiente F debe ser tratado como una medición para un campo específico y tendrá diferente significado según la ecuación de pérdidas en la que es usado. La ventaja de utilizar ésta aproximación es que tan solo se requiere un único parámetro,  $F$ , para permitir que los coeficientes de reacción de pared varíen a través de la red de una forma físicamente significativa.

#### 3.4.4. Edad del Agua y Seguimiento de Fuentes.

Además del transporte químico, EPANET también puede modelizar los cambios en la edad del agua a través del sistema de distribución. La edad del agua es el tiempo que una porción de agua se encuentra en la red. El agua nueva que entra en la red a través de depósitos o nudos fuente lo hace con una edad de cero. La edad del agua nos da una medida representativa de la calidad del agua potable. Internamente, EPANET trata la edad como un reactivo constitutivo el cual crece de forma lineal con una velocidad constante igual a 1 (es decir, cada segundo el agua es un segundo más vieja).



EPANET también puede realizar seguimiento de fuentes. El seguimiento de fuentes a lo largo del tiempo nos permite saber cuanto tanto por ciento de agua en cada nudo tiene su origen en un nudo en particular. El nudo fuente puede ser cualquier nudo de la red, incluyendo tanques o depósitos. Internamente, EPANET trata éste nudo como una fuente constante de constituyente no reactivo que entra en la red con una concentración de 100. El seguimiento de fuentes es una herramienta muy útil para analizar el camino en el sistema de distribución del agua desde dos o más puntos diferentes de aplicación. También puede mostrar con que grado se mezcla el agua de una fuente con el agua de las demás fuentes, y como el patrón temporal de comportamiento que sigue ésta mezcla cambia con el tiempo.

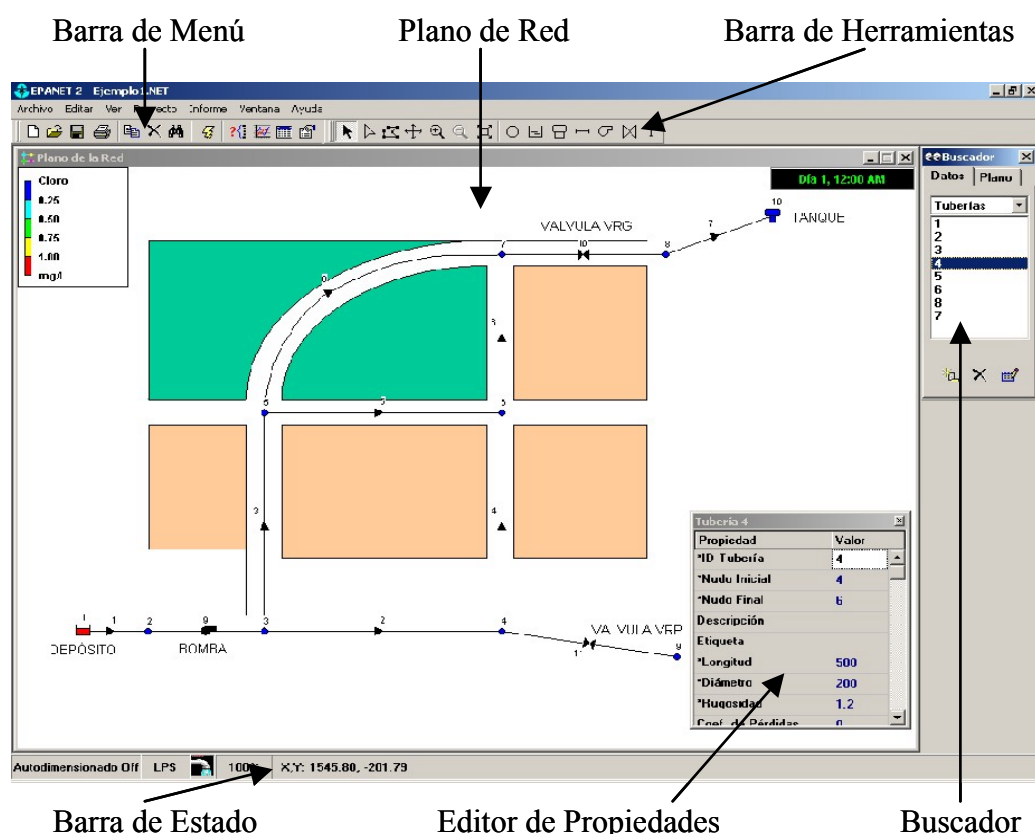
(Ésta página se ha dejado en blanco intencionadamente.)

## CAPÍTULO 4. ESPACIO DE TRABAJO DE EPANET

*Éste capítulo muestra las diferentes características del espacio de trabajo de EPANET. Se describe la barra del menú principal, las barras de estado y de herramientas, y las tres ventanas más utilizadas – el Plano de Red, el Buscador, y el Editor de Propiedades. También se muestra como elegir las preferencias de programa.*

### 4.1. Vista General.

El espacio de trabajo general de EPANET es el mostrado en la figura. Consta de los siguientes elementos: una Barra de Menú (Menú Bar), dos Barras de Herramientas (Toolbars), una Barra de Estado (Status Bar), la ventana del Plano de Red (Network Map), la ventana del Buscador (Browser) y la ventana del Editor de Propiedades (Property Editor). En las siguientes secciones se explica cada uno de éstos elementos.



## 4.2. Barra de Menú.

La barra de Menú se encuentra en la parte superior del espacio de trabajo de EPANET y contiene una colección de menús que se utilizan para el control del programa. Esto incluye:

- Menú de Archivo (File Menu)
- Menú de Edición (Edit Menu)
- Menú de Ver (View Menu)
- Menú de Proyecto (Project Menu)
- Menú de Informe (Report Menu)
- Menú de Ventana (Window Menu)
- Menú de Ayuda (Help Menu)

### 4.2.1. Menú Archivo.

El menú de archivo contiene los comandos para abrir y guardar los ficheros y para imprimir:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Nuevo (New)	Crea un nuevo proyecto de EPANET
Abrir (Open)	Abre un proyecto existente
Guardar (Save)	Guarda el proyecto actual
Guardar como (Save as)	Guarda el proyecto actual bajo un nombre diferente
Importar (Import)	Importa datos de red o un plano de un fichero
Exportar (Export)	Exporta datos de red o un plano a un fichero
Configurar página (Page Setup)	Configura los márgenes de página, cabeceras, y pies de página para la impresión
Vista preliminar (Print Preview)	Muestra la apariencia de impresión
Imprimir (Print)	Imprime
Preferencias (Preferences)	Configura las preferencias de programa
Salir (Exit)	Salir de EPANET

#### 4.2.2. Menú Edición.

El menú de edición contiene comandos para editar y copiar.

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Copiar (Copy To)	Copia lo que está seleccionado (plano, información, gráfica o tabla) al portapapeles o a un fichero
Seleccionar Objeto (Select Object)	Permite la selección de un objeto en el plano
Seleccionar Vértice (Select Vertex)	Permite la selección de los vértices de un línea en el plano
Seleccionar Región (Select Region)	Permite la selección de una región encerrada del plano
Seleccionar Todo (Select All)	Selecciona todo el plano
Editar Grupo (Group Edit)	Edita una propiedad para un grupo de objetos que se encuentran dentro de una región encerrada del plano

#### 4.2.3. Menú Ver.

El menú ver controla la vista del plano de red.

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Dimensiones (Dimensions)	Dimensiona el plano
Fondo de Pantalla (Backdrop)	Permite poner fondo al plano
Desplazar (Pan)	Desplazar el plano
Ampliar (Zoom In)	Zoom para acercarse en el plano
Reducir (Zoom Out)	Zoom para alejarse en el plano
Extensión Completa (Full Extent)	Redibuja el plano en su extensión completa
Encontrar (Find)	Localizar un elemento específico en el plano
Consulta (Query)	Búsqueda de elementos en el plano que sigan un criterio específico
Vista General (Overview Map)	Activa/Desactiva la ventana de vista general del plano
Leyendas (Legends)	Controlar la ventana de leyendas del plano
Herramientas (Toolbars)	Activar/Desactivar las barras de herramientas
Opciones (Optins)	Opciones del plano

#### 4.2.4. Menú Proyecto

El menú proyecto contiene los comandos relativos al proyecto que se analiza.

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Sumario (Summary)	Da una descripción completa de las características del proyecto
Predeterminado (Defaults)	Edita las propiedades predeterminadas de un proyecto
Datos de Calibración (Calibration Data)	Registra los ficheros que contienen los datos de calibración del proyecto
Opciones de Análisis (Analysis Options)	Edita las opciones de análisis
Comenzar Análisis (Run Analysis)	Empieza la simulación

#### 4.2.5. Menú Informe

El menú informe tiene los comandos utilizados para obtener los resultados del análisis en diferentes formatos.

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Estado (Status)	Informa de los cambios en el estado del elemento con el tiempo
Energía (Energy)	Informa de la energía consumida por cada bomba
Calibración (Calibration)	Informa de las diferencias entre la simulación y los valores reales de calibración
Reacción (Reaction)	Informa de la variación de la velocidad de reacción en la red
Completo (Full)	Informe completo de todas las variables de todos los nudos y líneas en todos los intervalos de tiempo en un archivo de texto
Gráfica (Graph)	Crea gráficas de evolución, gráficos de aprovechamiento, de frecuencia y de contorno de los parámetros seleccionados
Tabla (Table)	Crea una tabla con las cantidades de los nudos y líneas seleccionados
Opciones (Options)	Controla el formato de un informe, una gráfica o una tabla

#### 4.2.6. Menú Ventana.

El menú ventana contiene los siguientes comandos:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Ordenar (Arrange)	Reordena todas las ventanas dentro de la ventana principal
Cerrar Todo (Close All)	Cierra todas las ventanas (excepto el Plano y el Buscador)
Lista Ventanas (Windows List)	Lista de todas las ventanas abiertas; las seleccionadas están marcadas

#### 4.2.7. Menú Ayuda

El menú ayuda contiene los comandos para conseguir ayudas en la utilización de EPANET:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Ayudas Usuales (Help Topics)	Abre el cuadro de diálogo de Ayudas usuales
Unidades (Units)	Lista las unidades de medida de todos los parámetros de EPANET
Tutorial (Tutorial)	Activa un tutorial en el uso de EPANET
Acerca de (About)	Información acerca de la versión de EPANET utilizada

Apretando la tecla F1 obtendrá también la Ayuda.

### 4.3. Herramientas.













Las herramientas aportan los iconos con las acciones más comúnmente utilizadas. Hay dos clases de herramientas:

- Barra de Herramientas Estándar (Standard Toolbar)
- Barra de Herramientas de Plano (Map Toolbar)

Las barras de herramientas pueden colocarse en la barra del Menú Principal o arrastrarse a cualquier lugar del espacio de trabajo de EPANET. Cuando están libres, también pueden redimensionarse. Las barras de herramientas pueden activarse o desactivarse seleccionando **Ver >> Barras de Herramientas** (View >> Toolbars).













### 4.3.1. Barra de Herramientas Estándar

Ésta barra contiene botones instantáneos para los comandos más usuales.



-  Abre un nuevo proyecto. **Archivo >> Nuevo** (File >> New)
-  Abre un proyecto guardado. **Archivo >> Abrir** (File >> Open)
-  Guarda el proyecto actual. **Archivo >> Guardar** (File >> Save)
-  Imprime la ventana activada. **Archivo >> Imprimir** (File >> Print)
-  Copia la selección al portapapeles o a un archivo. **Editar >> Copiar** (Edit >> Copy To)
-  Borra el objeto seleccionado
-  Encuentra un objeto específico en el plano. **Ver >> Encontrar** (View >> Find)
-  Inicia la simulación. **Proyecto >> Comenzar Análisis** (Project >> Run Analysis)
-  Realiza una consulta visual en el plano. **Ver >> Consulta** (View >> Query)
-  Crea una nueva gráfica de resultados. **Informe >> Gráfica** (Report >> Graph)
-  Crea una nueva tabla de resultados. **Informe >> Tabla** (Report >> Table)
-  Modifica las opciones de ver de la ventana activada. **Ver >> Opciones** o **Informe >> Opciones** (View >> Options or Report >> Options)

### 4.3.2. Herramientas de Plano.

La barra de Herramientas de Plano contiene botones para trabajar con el Plano de Red.

-  Selecciona un objeto en el plano. **Editar >> Seleccionar Objeto** (Edit >> Select Object)
-  Selecciona vértices en líneas. **Editar >> Seleccionar Vértices** (Edit >> Select Vertex)
-  Selecciona una región en el plano. **Editar >> Seleccionar Región** (Edit >> Select Region)
-  Desplaza la vista en el plano. **Ver >> Desplazamiento** (View >> Pan)
-  Zoom para acercarse sobre el plano. **Ver >> Zoom In** (View >> Zoom In)
-  Zoom para alejarse sobre el plano. **Ver >> Zoom Out** (View >> Zoom Out)
-  Dibuja el plano a su extensión tamaño máxima. **Ver >> Extensión Máxima** (View >> Full Extent)
-  Añade una conexión al plano
-  Añade en depósito al plano
-  Añade un tanque al plano
-  Añade una tubería al plano
-  Añade una bomba al plano



-  Añade una válvula al plano
-  Añade una etiqueta al plano

#### 4.4. Barra de Estado.

La Barra de Estado aparece en la parte inferior del espacio de trabajo de EPANET y se divide en cuatro secciones que se describen a continuación:

- **Auto-dimensión** (Auto-Length) – indica cuando el cálculo automático de la longitud de la tubería está activado o no
- **Unidades de Caudal** (Flow Units) – muestra las unidades de caudal en las que se está trabajando
- **Nivel de Zoom** (Zoom Level) – muestra la escala de zoom a la que se ve el plano (100% escala máxima)
- **Estado de Inicio** (Run Status) – el icono de un grifo significa:
  - no arrancar si los resultados del análisis no están disponibles,
  - arrancar cuando los resultados validados del análisis estén disponibles,
  - un grifo cerrado cuando los resultados del análisis están disponibles pero no son correctos porque los datos de la red han sido modificados.
- **Situación XY** (XY Location)– muestra las coordenadas del plano en las que se encuentra en puntero del ratón.

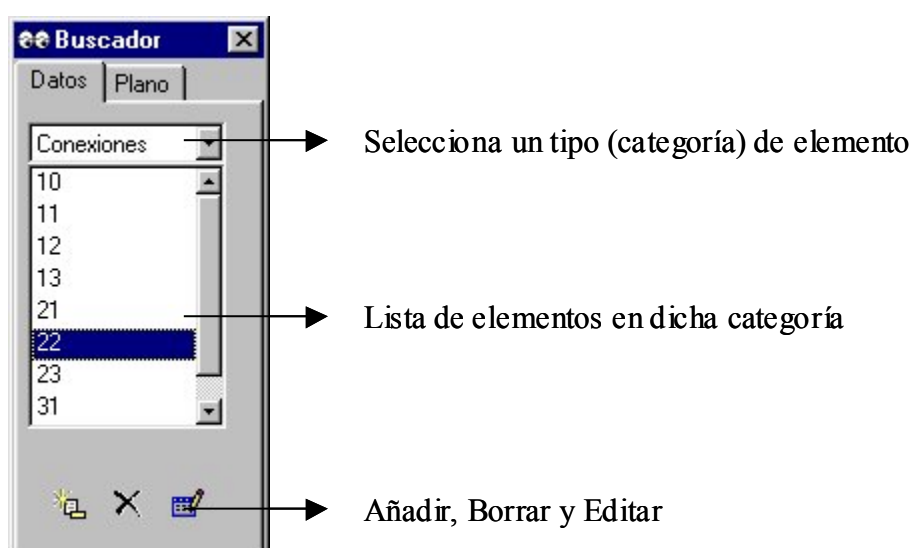
#### 4.5. Plano de Red.

El Plano de Red muestra un esquema con los objetos que conforman el sistema de distribución de agua. La localización de los objetos y las distancias entre ellos no son necesariamente las que existen en la escala física real. Seleccionando las propiedades de éstos objetos, tales como la calidad del agua en los nudos o la velocidad del caudal en las líneas, podemos verlas cuantitativamente en función del color. El código de colores se describe en una Leyenda, que puede editarse. Se pueden añadir nuevos objetos al plano y los existentes pueden ser seleccionados para editarlos, eliminarlos, y reposicionarlos. Una pantalla de fondo (como un plano urbano o uno topográfico) puede situarse detrás del plano de red como referencia. Podemos movernos sobre el plano con libertad y aumentar o disminuir su escala. Los nudos y líneas pueden dibujarse de diferentes

tamaños, añadir flechas de dirección de caudal, y símbolos, etiquetas de identificación o ver los valores numéricos de una determinada propiedad. El plano puede imprimirse, copiarse en el portapapeles o exportarse a un archivo .DXF o a un archivo metafile de Windows.

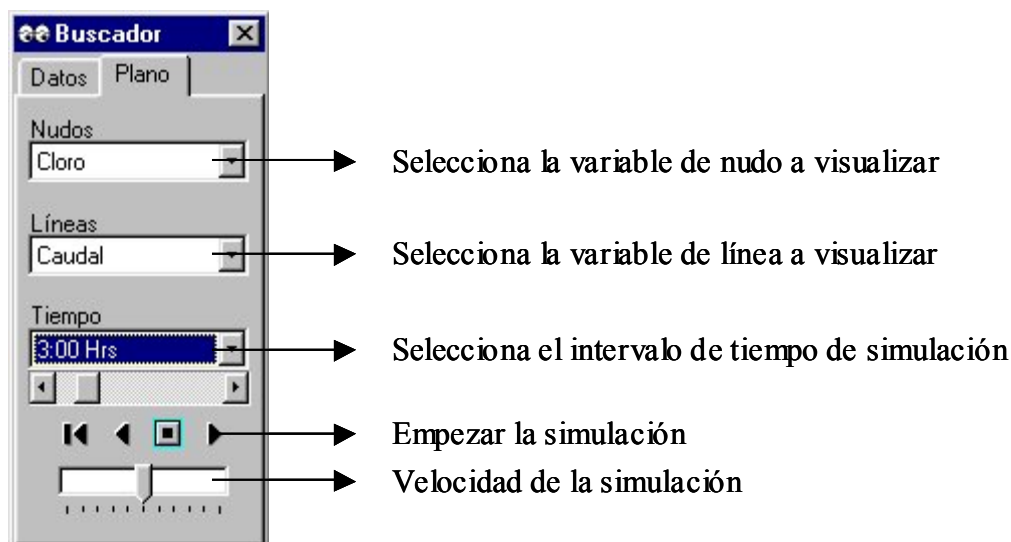
#### 4.6. Buscador de Datos.

Al Buscador de Datos (mostrado abajo) podemos acceder desde la etiqueta de Datos de la ventana del Buscador. Esto nos da acceso a varios objetos, que por categorías (conexiones, tuberías, etc.) se encuentran en la red que estamos analizando. Los botones del final se utilizan para añadir, borrar y editar éstos objetos.



#### 4.7. Buscador de Plano.

Al Buscador de Plano (mostrado abajo) podemos acceder desde la etiqueta de Plano de la ventana del Buscador. Se seleccionan los parámetros y el intervalo de tiempo que se quieren ver en un código de colores en el plano de red. También contiene los controles para activar la simulación de los parámetros elegidos, en el plano.



Los controles de simulación del Buscador de Plano funcionan de la siguiente forma:

- Atrás (vuelve al momento inicial)
- Simular hacia atrás
- Detener la animación
- Simular hacia delante

#### 4.8. Editor de Propiedades.

Propiedad	Valor
*ID Unión	21
Coordenada-X	30.00
Coordenada-Y	40.00
Descripción	
Etiqueta	
*Elevación	700
Demanda Base	150
Patrón de Demanc	
Categoría de Dem	1

El Editor de Propiedades (que se muestra el lado) se utiliza para editar las propiedades de los nudos, líneas, etiquetas, y las opciones de análisis. Se activa cuando seleccionamos uno de estos objetos (ya sea en el Plano de Red o en el Buscador de Datos) y haciendo doble clic en ellos o presionando el botón editar del Buscador. Los siguientes puntos explican como utilizar el Editor.

- El Editor se divide en dos columnas – una para el nombre de las propiedades y la otra para su valor.
- Las columnas pueden redimensionarse si modificamos el tamaño del Editor con el ratón desde la esquina superior.v

- La ventana del Editor también puede moverse y redimensionarse utilizando los medios convencionales de Windows.
- Un asterisco junto al nombre de una propiedad significa que ésta es necesaria– no puede quedarse sin valor.
- Dependiendo de la propiedad, el tipo de campo para su valor puede ser de uno de los siguientes tipos:
  - una caja de texto donde escribir el valor
  - un desplegable con una lista donde seleccionar una opción
  - un botón para activar un editor especializado
  - una etiqueta de solo lectura para ver los valores calculados
- La propiedad con la que se está trabajando quedará remarcada con un fondo blanco brillante.
- Se puede utilizar tanto el ratón como las teclas de cursor para moverse entre las propiedades.
- Para editar la propiedad activada, empiece a teclear el valor o presione la tecla Enter.
- Para hacer que EPANET acepte el dato introducido, presiona de nuevo la tecla Enter o muévete a otra propiedad; para cancelar presione la tecla ESC.
- Apretando el botón de Cerrar en la esquina superior derecha en la barra de título desactivará el Editor.

## 4.9. Preferencias de Programa.

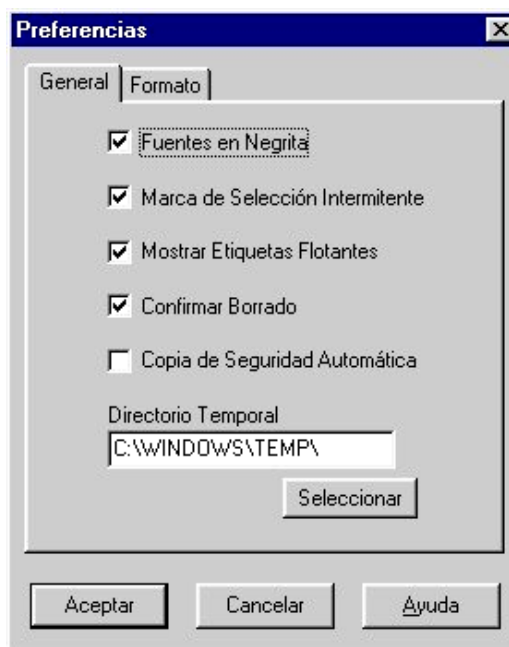
Las Preferencias de Programa le permiten personalizar ciertas características del mismo. Para activar las preferencias de programa seleccione **Preferencias** desde el menú **Archivo**. El cuadro de diálogo de las preferencias aparecerá con dos páginas – una para Preferencias Generales y otra para Preferencias de Formato.

### 4.9.1. Preferencias Generales

Las siguientes preferencias son las que se encuentran en la página de Preferencias Generales del cuadro de diálogo de Preferencias:

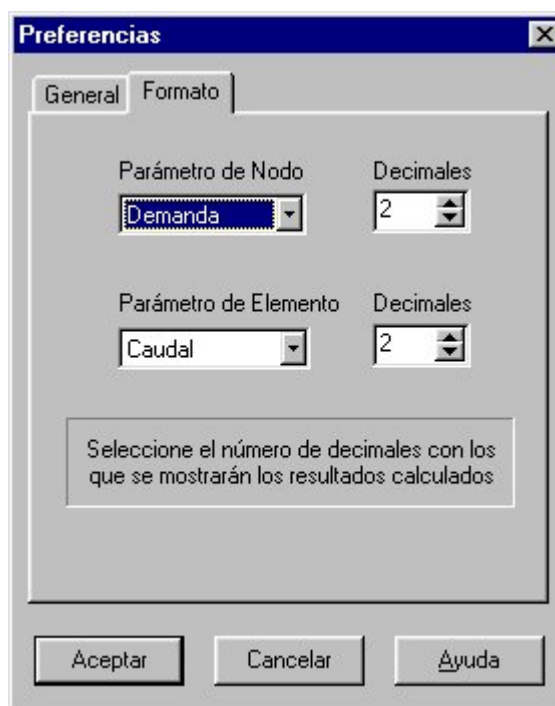
<i>Preferencia</i>	<i>Descripción</i>
Fuente en Negrita (Bold Fonts)	Cambia el formato de todas las fuentes de texto a Negrita
Marca de Selección Intermitente (Blinking Map Hiliter)	Determina que el nudo, línea o etiqueta seleccionado en el Plano parpadee o no
Mostrar Etiquetas Flotantes (Flyover Map Labeling)	Muestra las etiquetas ID y el valor del parámetro actual sólo cuando el ratón se posiciona sobre un nudo o etiqueta en el plano de red
Confirmar Borrado (Confirm Deletions)	Aparecerá un mensaje de confirmación antes de borrar cualquier objeto
Copia de Seguridad Automática (Automatic Backup File)	Guarda una copia de seguridad de cualquier nuevo proyecto abierto bajo la extensión de .bak
Directorio Temporal (Temporary Directory)	Nombre del directorio (o carpeta) donde EPANET guarda sus archivos temporales

**Nota:** El Directorio Temporal debe ser una carpeta donde el usuario haya especificado privilegios y debe tener el espacio necesario para guardar los ficheros que muy fácilmente pueden ocupar decenas de megabytes en el caso de grandes redes de distribución. La carpeta predeterminada es la carpeta TEMP de Windows (normalmente c:\Windows\Temp).



#### 4.9.2. Preferencias de Formato.

La página de Formato del cuadro de diálogo de Preferencias controla con cuantos decimales quieres los resultados numéricos. Utiliza los desplegables para seleccionar un parámetro específico de Nudo o Línea. Utiliza los cuadros con flechas para seleccionar el número de decimales para el valor numérico. El número de decimales que se utiliza en los valores de diseño, tales como diámetros de tuberías, longitudes, etc., es aquel que el usuario ha utilizado al introducir éstos.



## CAPÍTULO 5. TRABAJANDO CON PROYECTOS.


---

*Este capítulo muestra como EPANET utiliza los proyectos para guardar los datos de cañerías de la red. Se explica como modificar ciertas opciones predeterminadas y como introducir los datos de calibración (mediciones tomadas) en el proyecto para utilizarlos en la evaluación del modelo.*


### 5.1. Abriendo y Guardando los archivos de Proyecto.

Los archivos de Proyecto contienen toda la información utilizada en el modelo de la red. Normalmente se nombran bajo la extensión .NET.

Para crear un nuevo proyecto:

1. Selecciona **Archivo >> Nuevo** (File >> New) desde la Barra de Menú o apretando en  en la Barra de Herramientas.
2. Deberá guardar el proyecto actual (si se han hecho cambios) antes de crear un nuevo proyecto.
3. Un nuevo proyecto se creará sin nombre con los valores predeterminados.

Cada vez que se arranca EPANET se crea un nuevo proyecto. Para abrir un proyecto que ya existe:

1. Seleccione **Archivo >> Abrir** (File >> Open) desde la Barra de menú o apretando en  en la Barra de Herramientas.
2. Beberá guardar el proyecto actual (si se han hecho cambios).
3. Seleccione el archivo a abrir desde el cuadro de diálogo de Abrir Archivo (Open File) que aparecerá. Puede elegir abrir el tipo de archivo guardado anteriormente por EPANET (normalmente con la extensión .NET) o exportarlo como un fichero de texto (normalmente con la extensión .INP). EPANET reconoce el tipo de fichero por su contenido y no por su nombre.
4. Presione **Aceptar** (OK) para cerrar el cuadro de diálogo y abrir el archivo seleccionado.

Para guardar un proyecto bajo el nombre actual:

- Seleccione **Archivo >> Guardar** (File >> Save) en la Barra de Menú o apriete en  en la Barra de Herramientas.

Para guardar un proyecto utilizando un nombre diferente:

1. Seleccione **Archivo >> Guardar como** (File >> Save as) en la Barra de Menú.
2. Un cuadro de diálogo estándar aparecerá desde el que podrá seleccionar la carpeta donde quiere guardar el archivo y con qué nombre quiere hacerlo.

**Nota:** Los proyectos se guardarán siempre en archivos binarios .NET. Para guardar un proyecto en un archivo de texto ASCII, seleccione **Exportar >> Red** (Export >> Network) del menú **Archivo** (File).

## 5.2. Proyectos Predeterminados.

Cada proyecto tiene un conjunto de valores predeterminados que se utilizan cuando el usuario de EPANET no los ha cambiado. Éstos valores se agrupan en tres categorías:

- Etiquetas de identificación (ID) predeterminadas (etiquetas utilizadas para identificar los nudos y líneas cuando son creados por primera vez)
- Propiedades nudo/línea predeterminadas (es decir, elevación del nudo, longitud de la tubería, diámetro, y rugosidad)
- Opciones hidráulicas predeterminadas del análisis (es decir, sistema de unidades, ecuación de pérdidas, etc.)

Para elegir los valores predeterminados en un proyecto:

1. Seleccione **Proyecto >> Predeterminado** (Project >> Defaults) desde la Barra de Menú.
2. Un cuadro de diálogo aparecerá con tres páginas, una para cada una de las categorías comentadas anteriormente.
3. Marque el cuadro en blanco de la esquina inferior izquierda si quiere salvar sus parámetros como predeterminados para todo nuevo proyecto.

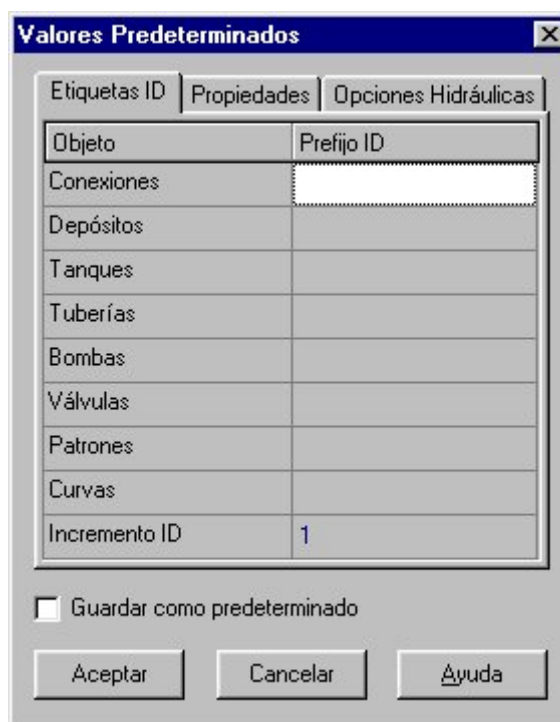


4. Presione en **Aceptar** (OK) para aceptar su elección.

A continuación se explican cada una de las categorías.

### 5.2.1. Etiquetas de ID Predeterminadas.

La página de las Etiquetas de ID del cuadro de diálogo se muestra en la Figura 5.1. Se utiliza para especificar cómo tiene EPANET que asignar las etiquetas de ID a los componentes de la red cuando son creados por primera vez. Podemos introducir un prefijo de etiqueta para cada objeto o dejar que el espacio en blanco de la misma lo ocupe un número identificador. Entonces, tenemos que introducir el incremento de éstas etiquetas numéricas a medida que se asocian a un nuevo objeto. Como ejemplo, si utilizamos una J como prefijo de Conexiones (Junctions) y un incremento de 5, entonces las conexiones que se creen serán nombradas de la siguiente forma J5, J10, J15 y así sucesivamente. Después de haber creado un objeto, se puede utilizar el Editor de Propiedades para modificar su etiqueta de ID si es necesario.



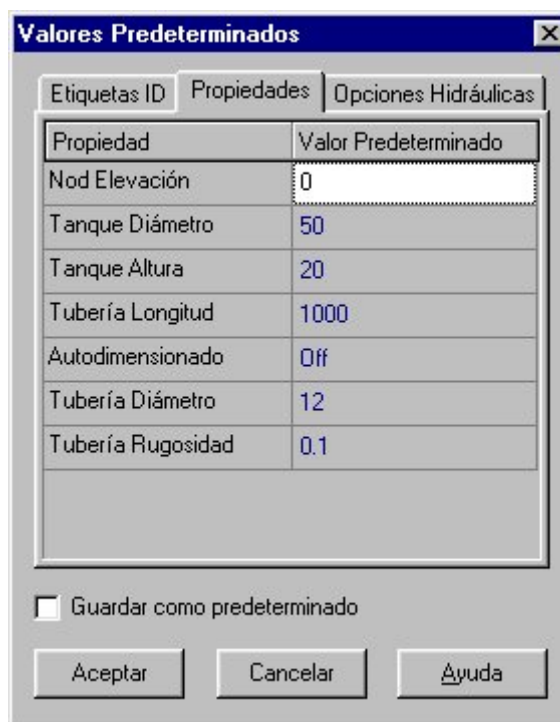
**Figura 5.1** Página de Etiquetas ID predeterminadas en el Proyecto.

### 5.2.2. Propiedades Nudo/Línea Predeterminadas.

La página de Propiedades del cuadro de diálogo de valores predeterminados se muestra en la Figura 5.2. Es el conjunto de los valores predeterminados de las propiedades de los nuevos nudos y líneas. Éstas propiedades incluyen:

- Elevación de los nudos
- Diámetro de los tanques
- Nivel máximo de agua de los tanques
- Longitud de las tuberías
- Autodimensionado (cálculo automático de la longitud) de las tuberías
- Diámetro de las tuberías
- Rugosidad de las tuberías

Cuando se activa la propiedad de autodimensionado, la longitud de la tubería se calculará automáticamente a medida que éstas se retiran o se incluyen en el plano de red. Un nudo o línea creado con éstas propiedades siempre puede ser modificado posteriormente utilizando el Editor de Propiedades.



**Figura 5.2** Página de Propiedades predeterminadas en el Proyecto.

### 5.2.3. Opciones Hidráulicas Predeterminadas.

La tercera página del cuadro de diálogo de los valores predeterminados se utiliza para establecer las Opciones Hidráulicas del Análisis. Contiene el mismo grupo de opciones que el Buscador (ver Sección 8.1). Se repiten en el cuadro de diálogo de los valores predeterminados del proyecto así que pueden guardarse para que sean usadas por nuevos proyectos de la misma

forma que por el actual. En las que hay que hacer más hincapié son las unidades de caudal (Flow Units), la ecuación de pérdidas (Headloss Formula), y el patrón predeterminado (Default Pattern). La elección de las unidades de caudal determinará que el resto de variables se expresen en unidades del Sistema Internacional (SI) o unidades anglosajonas. La elección de la ecuación de pérdidas determinará el tipo de coeficiente de rugosidad para cada tubería de la red. El Patrón predeterminado automáticamente será el Patrón de Tiempos utilizado en la variación de las demandas en la simulación de periodo extendido para todas las conexiones que no se les haya asignado uno.

### 5.3. Datos de Calibración.

EPANET permite comparar los resultados de la simulación con parámetros reales medidos. Esto puede hacerse vía las Gráficas de Evolución para localizaciones seleccionadas en la red o a través de Informes de Calibración que puede considerar múltiples localizaciones. Antes de que EPANET pueda utilizar los datos de calibración han de ser introducidos en un fichero y asociarlo al proyecto.

#### 5.3.1. Ficheros de Calibración.

Un fichero de calibración es un fichero de texto que contiene los datos de medida tomados de una determinada cantidad en un determinado momento en el sistema de distribución. El fichero nos aporta datos observados que pueden compararse con los resultados de la simulación. Se suelen crear diferentes ficheros para diferentes parámetros (por ejemplo, presión, flúor, cloro, caudal, etc.) y diferentes estudios. Cada línea del fichero contiene lo siguiente:

- Localización ID – etiqueta ID (tal y como se utiliza en el modelo de la red) de la localización donde se ha tomado la medida
- Tiempo - Tiempo (en horas) cuando se tomó la medida
- Valor - Resultado de la medición

El tiempo de la medición se da con respecto al tiempo cero en la simulación en el cuál el archivo de calibración se aplicará. Puede ser introducido en formato decimal (por ejemplo, 27.5) o en formato horario (por ejemplo, 27:30). Para los datos utilizados en el análisis en régimen permanente el tiempo será igual a cero. Se pueden añadir comentarios al fichero precedidos de una semicomma (;). Para una serie de mediciones en el mismo sitio no es necesario repetir la etiqueta de localización. A continuación se muestra un extracto de un archivo de calibración.

```

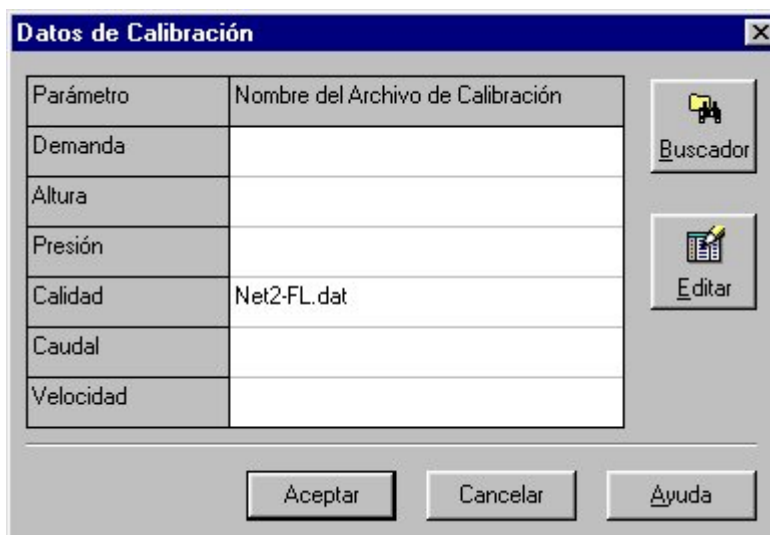
;Fluoride Tracer Measurements
;Location      Time      Value
;-----
      N1          0          0.5
              6.4          1.2
              12.7         0.9
      N2          0.5         0.72
              5.6          0.77

```

### 5.3.2. Registrando Datos de Calibración.

Para registrar los datos de calibración que se encuentran en un archivo de calibración:

1. Selecciona **Proyecto >> Datos de Calibración** (Project >> Calibration Data) de la Barra de Menú.
2. En el cuadro de diálogo que se muestra en la Figura 5.3, presione en la caja al lado del parámetro cuyos datos de calibración desea introducir.
3. Escriba el nombre del fichero de calibración del parámetro elegido o utilice el botón del **Buscador** para encontrarlo.
4. Presione el botón **Editar** si quiere abrir el fichero en una ventana del Bloc de Notas de Windows para editarlo.
5. Repita los pasos 2 - 4 para cualquier otro parámetro que tenga datos de calibración.
6. Presione **Aceptar** (OK) para aceptar los nuevos parámetros.



**Figura 5.3** Cuadro de Diálogo de Datos de Calibración.

#### 5.4. Resumen del Proyecto.

Para ver un resumen descriptivo del proyecto selecciona **Proyecto >> Resumen** (Project >> Summary) desde la Barra de Menú. En el cuadro de diálogo que aparecerá puede editar un título descriptivo para el proyecto así como añadir notas. Cuando quiera abrir un archivo previamente guardado, el cuadro de diálogo mostrará ambos objetos seleccionados con diferentes nombres de archivo. Esto resulta muy útil para localizar análisis de redes determinadas. El cuadro también muestra ciertas estadísticas de la red, tales como el número de conexiones, de tuberías, de bombas, etc.

(Ésta página se ha dejado en blanco intencionadamente.)

## **CAPÍTULO 6. TRABAJANDO CON OBJETOS.**

---

*EPANET utiliza diferentes tipos de objetos para modelizar un sistema de distribución. Podemos acceder a ellos directamente desde el plano de red o desde la página de Datos de la ventana del Buscador. Éste capítulo describe lo que son éstos objetos y cómo se pueden crear, seleccionar, editar y reposicionar.*

### **6.1. Tipos de Objetos.**

EPANET trabaja con diferentes tipos de objetos físicos que pueden aparecer en el plano de red, y otros objetos no físicos que acompañan al diseño y a los parámetros de funcionamiento. Éstos objetos pueden clasificarse de la siguiente forma:

#### **(1) Nudos**

- (a) Conexiones
- (b) Depósitos
- (c) Tanques

#### **(2) Líneas**

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

#### **(3) Etiquetas de Plano**

#### **(4) Patrones de Tiempo**

#### **(5) Curvas**




#### **(6) Controles**

- (a) Simples
- (b) Programados


### **6.2. Añadiendo Objetos.**

#### **6.2.1. Añadiendo un Nudo.**

Para añadir un Nudo utilizando la Barra de Herramientas del Plano:




1. Presione el botón correspondiente según el tipo de nudo a añadir (conexión , depósito , o tanque ) desde la barra de herramientas del plano si es que no está activado.
2. Mueva el ratón al punto del plano donde lo desea y presione el botón izquierdo del mismo.

Para añadir un Nudo utilizando el Buscador:

1. Seleccione el tipo de nudo (conexión, depósito o tanque) desde la lista de Objetos en el Buscador de Datos.
2. Presione el botón de Añadir .
3. Introduzca las coordenadas del plano con el Editor de Propiedades (opcional).

### 6.2.2. Añadiendo un Línea.

Para añadir una Línea recta o curva utilizando las herramientas de plano:

1. Seleccione el botón del tipo de línea a añadir (tubería , bomba , o válvula ) desde la barra de herramientas del plano si no lo está.
2. En el plano, seleccione con el ratón el punto de inicio de la línea.
3. Mueva el ratón en la dirección del nudo final de la línea, presionando el botón del ratón creará nudos intermedios que pueden ser necesarios para cambiar la dirección de la línea.
4. Finalmente presione el botón del ratón en el nudo final de la línea.

Presionando el botón derecho del ratón o la tecla ESC mientras dibujamos cancelaremos la operación.

Para añadir una Línea recta utilizando el Buscador:


1. Seleccione el tipo de línea a añadir (tubería, bomba o válvula) desde la lista de Objetos del Buscador de Datos.
2. Presione el botón Añadir.



3. Introduzca los nudos inicio y final de la línea en el Editor de Propiedades.

### 6.2.3. Añadiendo una Etiqueta de Plano.

Para añadir una Etiqueta al plano:

1. Presione el botón de Texto  en las herramientas de plano.
2. Presione con el ratón en la zona del plano donde quiere que aparezca.
3. Introduzca el texto de la etiqueta.
4. Presione la tecla Enter.

### 6.2.4. Añadiendo una Curva.

Para añadir una Curva en la base de datos del sistema:

1. Seleccione Curva desde la lista de categorías de objetos del Buscador de Datos.
2. Presione el botón Añadir.
3. Edita la curva utilizando el Editor de Curvas (ver abajo).

### 6.2.5. Añadiendo un Patrón de Tiempos.

Para añadir un Patrón al sistema:


1. Seleccione Patrón desde la lista del Buscador de Datos.
2. Presione el botón Añadir.
3. Edita el patrón utilizando el Editor de Patrones (ver abajo).

### 6.2.6. Utilizando un Fichero de Texto.

Además de añadir los objetos individualmente, se puede importar un fichero de texto que contenga el listado de las etiquetas de ID de todos los nudos y sus coordenadas así como una lista de todas las líneas y sus nudos de conexión (ver Sección 11.4 – Importando un Sistema Parcialmente).

### 6.3. Seleccionando Objetos.


Para seleccionar un objeto en el plano:

1. Asegúrese que el plano se encuentra en el modo de Selección (la forma del cursor es una flecha apuntando a la izquierda).  
Para activar éste modo, puede presionar el botón  en las herramientas de plano o elegir **Seleccionar Objeto** desde el menú **Editar**.
2. Presione con el ratón sobre el objeto deseado en el plano.

Para seleccionar un objeto utilizando el Buscador:

1. Seleccione la categoría de objeto del desplegable del Buscador de Datos.
2. Seleccione el objeto deseado del desplegable inferior dentro de una misma categoría.

### 6.4. Editando Objetos Visibles.

El Editor de Propiedades (ver Sección 4.8) se utiliza para editar las propiedades de los objetos que pueden aparecer en el Plano de Red (Conexiones, Depósitos, Tanques, Tuberías, Válvulas o Etiquetas). Para editar uno de éstos objetos, seleccione el objeto en el plano o desde el Buscador de Datos, presione el botón de Editar  en el Buscador de Datos (o simplemente haga doble clic sobre el objeto en el plano). Las propiedades asociadas con cada uno de éstos tipos de objetos se describen en las Tablas 6.1 a 6.7.

**Nota:** El sistema de unidades que se utiliza se expresa en función de las unidades elegidas para el caudal. Utilizando un caudal expresado en pies cúbicos, galones o acres-pie significa que se utilizará el sistema de unidades americano. Utilizando un caudal expresado en litros o metros cúbicos significa que utilizaremos el Sistema Internacional de unidades. Las unidades de caudal se seleccionan desde las Opciones Hidráulicas de proyecto a las que se puede acceder desde el menú **Proyecto >> Predeterminado** (Project >> Defaults). Las unidades utilizadas para todas las propiedades se recogen en el Apéndice A.

**Tabla 6.1** Propiedades de Conexiones.

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Conexión	Etiqueta de identificación. Puede contener hasta 15 dígitos o caracteres. No puede ser la misma que la etiqueta ID de otro nudo. Ésta es una propiedad necesaria.
Coordenada X	Localización horizontal de la conexión en el plano, medida en las unidades del plano. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el plano.
Coordenada Y	Localización vertical de la conexión en el plano, medida en las unidades del plano. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el plano.
Descripción	Texto opcional donde escribir información significativa de la conexión.
Marca	Texto opcional (sin espacios en blanco) que se utiliza para asignar la conexión a una categoría, así como una zona de presión.
Elevación	La elevación en metros (pies) de la conexión respecto a una referencia. Es una propiedad necesaria. Se utiliza sólo para calcular la presión en la conexión. No afecta a ningún otro cálculo.
Demanda Base	La variación o la demanda nominal de agua es la categoría principal de consumo en la conexión, se mide en unidades de caudal. Un valor negativo significa una fuente externa de caudal en la conexión. Si se deja en blanco se supondrá una demanda de cero.
Patrón de Demanda	Etiqueta de ID del patrón de tiempos utilizada para caracterizar la variación de demanda con el tiempo. El patrón nos da los factores que se aplican a la demanda base para determinar la demanda real en cada intervalo. Si se deja en blanco se tomarán los parámetros predeterminados (ver Sección 8.1).
Tipos de Demanda	Número de las diferentes demandas de los usuarios en la conexión. Presione el botón punteado (o la tecla Enter) para abrir un Editor de Demanda especial que le permitirá asignar demandas base y patrones de tiempo a los diferentes usuarios de la conexión. Ignórelo si la conexión sólo tiene una demanda simple.
Coefficiente de Emisor	Coefficiente de descarga del Emisor (tobera o aspersor) situado en la conexión. El coeficiente representa el caudal (en unidades del caudal) que hay cuando la pérdida de carga es de 1 mca (o psi). En blanco si no hay emisores. Ver Emisores en la Sección 3.1 para más detalles.
Calidad Inicial	Nivel de calidad del agua en la conexión al iniciarse la simulación. Puede dejarse en blanco si no se va a realizar un análisis de calidad del agua o si el nivel es cero.
Fuente de Calidad	Calidad del agua que entra en la red en éste punto. Presione el botón punteado (o la tecla Enter) para abrir el Editor de Fuentes de Calidad (ver Sección 6.5).

**Tabla 6.2** Propiedades de Depósitos.

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Depósito	Etiqueta de identificación. Puede contener hasta 15 dígitos o caracteres. No puede ser la misma que la etiqueta ID de otro nudo. Ésta es una propiedad necesaria.
Coordenada X	Localización horizontal del depósito en el plano, medida en las unidades del plano. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el plano.
Coordenada Y	Localización vertical del depósito en el plano, medida en las unidades del plano. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el plano.

Descripción	Texto opcional donde escribir información significativa del depósito.
Marca	Texto opcional (sin espacios en blanco) que se utiliza para asignar al depósito a una categoría, así como una zona de presión.
Altura Total	La altura hidráulica (elevación + presión) del agua en el depósito en pies (metros). Es una propiedad necesaria.
Patrón de Altura	Etiqueta de ID del patrón de tiempos utilizada para modelizar la variación de la altura piezométrica carga en el depósito con el tiempo. Se deja en blanco si no se aplica. Ésta propiedad es útil si el depósito representa una conexión con otro sistema en el que varía la presión.
Calidad Inicial	Nivel de calidad del agua en el depósito al iniciarse la simulación. Puede dejarse en blanco si no se va a realizar un análisis de calidad del agua o si el nivel es cero.
Fuente de Calidad	Calidad del agua que entra en la red en éste punto. Presione el botón punteado (o la tecla Enter) para abrir el Editor de Fuentes de Calidad (ver Sección 6.5).

**Tabla 6.3** Propiedades de Tanques.

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Tanque	Etiqueta de identificación. Puede contener hasta 15 dígitos o caracteres. No puede ser la misma que la etiqueta ID de otro nudo. Ésta es una propiedad necesaria.
Coordenada X	Localización horizontal del tanque en el plano, medida en las unidades del plano. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el plano.
Coordenada Y	Localización vertical del tanque en el plano, medida en las unidades del plano. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el plano.
Descripción	Texto opcional donde escribir información significativa del tanque.
Marca	Texto opcional (sin espacios en blanco) que se utiliza para asignar al tanque a una categoría, así como una zona de presión.
Elevación	La elevación en mca (pies) del fondo del tanque respecto a una referencia. Es una propiedad necesaria.
Nivel Inicial	Altura en metros (pies) del nivel de agua de tanque con respecto al fondo al inicio de la simulación. Es una propiedad necesaria.
Nivel Mínimo	Altura mínima en metros (pies) de la superficie del agua desde el fondo que se ha de mantener como mínimo en todo momento. El tanque no suministrará por debajo de éste nivel mínimo. Es una propiedad necesaria.
Nivel Máximo	Altura mínima en metros (pies) de la superficie del agua desde el fondo que se ha de mantener. Al tanque no se le permitirá superar éste nivel. Es una propiedad necesaria.
Diámetro	Diámetro del tanque en metros (pies). Para tanques cilíndricos es el diámetro real. Para tanques cuadrados o rectangulares es el diámetro equivalente, igual a 1.128 veces la raíz cuadrada de la sección. Para tanques cuya geometría se describe con una curva (ver abajo) puede ponerse cualquier valor. Es una propiedad necesaria.
Volumen Mínimo	Volumen de agua en el tanque cuando se encuentra a su nivel mínimo, en metros cúbicos (pies cúbicos). Es una propiedad opcional, muy útil para describir la geometría del fondo de tanques no cilíndricos de los que no conocemos la curva de volumen profundidad (ver abajo).
Curva de Volumen	Etiqueta de ID de una curva utilizada para describir la relación entre el volumen del tanque y el nivel del agua. Si no se especifica un valor entonces el tanque se considera cilíndrico.

Modelos de Mezclado	<p>Tipo de mezclado que se produce en el tanque. Varios tipos de modelos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MIXED (mezclado completo),</li> <li>• 2COMP (dos compartimentos),</li> <li>• FIFO (el que primero entra, primero sale),</li> <li>• LIFO (el último que entra, es el primero en salir).</li> </ul> <p>Ver los modelos de mezclado en la Sección 3.4 para más información.</p>
Fracción de Mezclado	Fracción del volumen total del tanque que se destina al compartimento de entrada/salido del modelo 2COMP. Se deja en blanco si en modelo de mezclado es otro.
Coefficiente de Reacción	Coefficiente de reacción en el seno para las reacciones químicas en el tanque. Las unidades de tiempo son 1/días. Positivo para crecimiento de reacción y negativo en caso contrario. Dejar en blanco si el coeficiente de reacción Global en el Seno que se especifica en las opciones de reacción del proyecto se aplica. Ver Reacciones de Calidad del Agua en la Sección 3.4 para más información.
Calidad Inicial	Nivel de calidad del agua en el tanque al iniciarse la simulación. Puede dejarse en blanco si no se va a realizar un análisis de calidad del agua o si el nivel es cero.
Fuente de Calidad	Calidad del agua que entra en la red en éste punto. Presione el botón punteado (o la tecla Enter) para abrir el Editor de Fuentes de Calidad (ver Sección 6.5).

**Tabla 6.4** Propiedades de Tuberías.

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Tubería	Etiqueta de identificación. Puede contener hasta 15 dígitos o caracteres. No puede ser la misma que la etiqueta ID de otra línea. Ésta es una propiedad necesaria.
Nudo Inicio	La ID del nudo donde empieza la tubería. Es una propiedad necesaria.
Nudo Fin	La ID del nudo donde termina la tubería. Es una propiedad necesaria
Descripción	Texto opcional donde escribir información significativa de la tubería.
Marca	Texto opcional (sin espacios en blanco) que se utiliza para asignar a la tubería a una categoría, así como una zona de presión.
Longitud	Longitud real de la tubería en metros (pies). Es una propiedad necesaria.
Diámetro	Diámetro de la tubería en mm (pulgadas). Es una propiedad necesaria.
Rugosidad	Coefficiente de rugosidad de la tubería. Es adimensional para Hazen-Williams y Chezy-Manning y tiene unidades de mm (milipies) para Darcy-Weisbach. Es una propiedad necesaria.
Coefficiente de Pérdidas	Coefficiente adimensional de pérdidas menores asociado a codos, cambios de dirección, etc. En blanco se supone cero.
Estado Inicial	Determina cuando la tubería se encuentra inicialmente abierta, cerrada o tiene una válvula reguladora. Si la válvula reguladora está especificada entonces la dirección del caudal en la tubería siempre será desde el nudo inicio al nudo fin.
Coefficiente de Reacción	Coefficiente de reacción en el seno de la tubería. Las unidades de tiempo son 1/días. Positivo para crecimiento de reacción y negativo en caso contrario. Dejar en blanco si el coeficiente de reacción Global en el Seno que se

	específica en las opciones de reacción del proyecto se aplica. Ver Reacciones de Calidad del Agua en la Sección 3.4 para más información.
Coeficiente de Pared	Coeficiente de reacción en la pared de la tubería. Las unidades de tiempo son 1/días. Positivo para crecimiento de reacción y negativo en caso contrario. Dejar en blanco si el coeficiente de reacción Global en el Seno que se especifica en las opciones de reacción del proyecto se aplica. Ver Reacciones de Calidad del Agua en la Sección 3.4 para más información.

**Nota:** La longitud de las tuberías se puede calcular automáticamente a medida que las creamos o que las reposicionamos en el plano de red si el **Autodimensionado** (Auto-Length) está activado. Para activar /desactivar:

- ◆ Selecciona **Proyecto >> Predeterminado** (Project >> Defaults) y activa Autodimensionado en la página de Propiedades del cuadro de diálogo.
- ◆ Haz clic sobre el botón derecho del ratón sobre la sección de Autodimensionado en la Barra de Estado y entonces presiona el botón en el menú emergente.

Asegúrese de asignar dimensiones adecuadas al plano de la red antes de utilizar ésta ayuda (ver Sección 7.2).

**Tabla 6.5** Propiedades de las Bombas.

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Bomba	Etiqueta de identificación. Puede contener hasta 15 dígitos o caracteres. No puede ser la misma que la etiqueta ID de otra línea. Ésta es una propiedad necesaria.
Nudo Inicio	La ID del nudo donde empieza la bomba. Es una propiedad necesaria.
Nudo Fin	La ID del nudo donde termina la bomba. Es una propiedad necesaria
Descripción	Texto opcional donde escribir información significativa de la bomba.
Marca	Texto opcional (sin espacios en blanco) que se utiliza para asignar la bomba a una categoría, tal vez basada en la edad, el tamaño o la situación.
Curva Característica	Etiqueta ID de la curva característica de la bomba se utiliza para describir la relación existente entre la altura desarrollada por la bomba y el caudal trasegado. Déjelo en blanco si la bomba es una constante (ver debajo).
Potencia	La potencia suministrada por la bomba en caballos de vapor (kW). Se supone que la bomba suministra la misma potencia independientemente del caudal que trasiega. Si lo deja en blanco se utilizará una curva característica. Se utiliza cuando la curva característica no está disponible. <sup>5</sup>
Velocidad	Velocidad relativa de la bomba (adimensional). Por ejemplo, una velocidad de 1.2 implica que la velocidad angular de la bomba es el 20% de su valor nominal.
Patrón	Etiqueta ID del Patrón de Tiempo utilizada para controlar el modo de operación de la bomba. Los factores del patrón son equivalentes a las series de velocidad. Un factor de cero implica que la bomba se desconectará durante el

<sup>5</sup> NdT: Esta opción de representación del comportamiento de las bombas resulta totalmente desaconsejable desde el punto de vista del comportamiento de la máquina.

		intervalo de tiempo correspondiente. Dejarlo en blanco no es aplicable.
Estado Inicial		Estado de la bomba (abierto o cerrado) al inicio del periodo de simulación.
Curva de Rendimiento	de	Etiqueta ID de la curva que representa el rendimiento de la bomba (en tanto por cien) en función del caudal. Ésta información se utiliza únicamente para calcular utilización de energía. Esta opción se puede dejar en blanco sino se desea calcular el consumo energético o bien si se ha especificado una curva de rendimientos global en las Opciones Energéticas del proyecto (ver Sección 8.1).
Precio Energía	de	El incremento o el precio nominal de la energía en unidades monetarias por kW-hr. Se utiliza sólo para calcular el coste de energía. Esta opción se puede dejar en blanco sino se desea calcular el consumo energético o bien si se ha especificado una curva de rendimientos global en las Opciones Energéticas del proyecto (ver Sección 8.1).
Patrón Precios	de	La etiqueta ID del Patrón de Tiempos utilizada para describir la variación en el precio de la energía a lo largo del día. Cada factor del patrón es aplicable al Precio de la Energía de la bomba para determinar el precio a lo largo del día en el intervalo correspondiente. Esta opción se puede dejar en blanco sino se desea calcular el consumo energético o bien si se ha especificado una curva de rendimientos global en las Opciones Energéticas del proyecto (ver Sección 8.1).

**Tabla 6.6. Propiedades de Válvulas.**

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>														
ID Válvula	Etiqueta de identificación. Puede contener hasta 15 dígitos o caracteres. No puede ser la misma que la etiqueta ID de otra línea. Ésta es una propiedad necesaria.														
Nudo Inicio	La ID del nudo aguas arriba de la válvula (VRPs y VSPs mantienen el caudal en una única dirección). Es una propiedad necesaria.														
Nudo Fin	La ID del nudo aguas abajo de la válvula. Es una propiedad necesaria.														
Descripción	Texto opcional donde escribir información significativa de la válvula.														
Marca	Texto opcional (sin espacios en blanco) que se utiliza para asignar a la válvula a una categoría, así como una zona de presión.														
Diámetro	Diámetro de la válvula en mm (pulgadas). Es una propiedad necesaria.														
Clase	Tipo de válvula (VRP, VSP, VRC, VCQ, VRG, o VPG). Ver Válvulas en la Sección 6.1 para las descripciones de los diferentes tipos. Es una propiedad necesaria.														
Tarado	Un parámetro necesario para describir el tipo de funcionamiento de la válvula.														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><u>Tipo de Válvula</u></th> <th><u>Parámetro de Operación</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VRP</td> <td>Presión (m o psi)</td> </tr> <tr> <td>VSP</td> <td>Presión (m o psi)</td> </tr> <tr> <td>VRC</td> <td>Presión (m o psi)</td> </tr> <tr> <td>VCQ</td> <td>Caudal (en unidades de caudal)</td> </tr> <tr> <td>VRG</td> <td>Coefficiente de Pérdidas (adimensional)</td> </tr> <tr> <td>VPG</td> <td>ID o curva de pérdidas</td> </tr> </tbody> </table>	<u>Tipo de Válvula</u>	<u>Parámetro de Operación</u>	VRP	Presión (m o psi)	VSP	Presión (m o psi)	VRC	Presión (m o psi)	VCQ	Caudal (en unidades de caudal)	VRG	Coefficiente de Pérdidas (adimensional)	VPG	ID o curva de pérdidas
<u>Tipo de Válvula</u>	<u>Parámetro de Operación</u>														
VRP	Presión (m o psi)														
VSP	Presión (m o psi)														
VRC	Presión (m o psi)														
VCQ	Caudal (en unidades de caudal)														
VRG	Coefficiente de Pérdidas (adimensional)														
VPG	ID o curva de pérdidas														
Coefficiente de Pérdidas	de Coeficiente adimensional de pérdidas menores que se aplica cuando la válvula está completamente abierta. Si se deja en blanco se supone 0.														
Estado Fijo	Estado de la válvula al inicio de la simulación. Si se elige ABIERTO o CERRADO entonces se ignora el control de la válvula y ésta empieza como una línea abierta o cerrada respectivamente. Si se elige NINGUNO, entonces la														

válvula comenzará según lo determinado. El Estado Fijo y el Funcionamiento de una válvula puede hacerse variar a lo largo de la simulación con el uso de los controles de estado. Si el estado de una válvula se fija en ABIERTO / CERRADO, entonces puede hacerse activar de nuevo utilizando un control que le asigne un nuevo parámetro numérico.

**Tabla 6.7.** Propiedades de las Etiquetas del Plano.


<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
Texto	Etiqueta de texto.
Coordenada X	Localización horizontal de la esquina superior izquierda de la etiqueta en el plano, medida en las unidades de escala del plano. Es una propiedad necesaria.
Coordenada Y	Localización vertical de la esquina superior izquierda de la etiqueta en el plano, medida en las unidades de escala del plano. Es una propiedad necesaria.
Anclaje de Nudo	ID del nudo que sirve como punto de anclaje de la etiqueta (ver Nota 1 abajo). Dejar en blanco si la etiqueta no va a ser anclada.
Tipo de Medidor	Tipo de objeto medido por la etiqueta (ver Nota 2 abajo). Puede elegir Ninguno, Nudo, o Línea.
ID Medidor	ID del objeto (Nudo o Línea) que se está midiendo.
Fuente	Lanza el diálogo de Fuente que permite elegir la fuente de texto de la etiqueta, el tamaño, y el estilo.

**Notas:**

1. La propiedad de anclaje de nudo se utiliza para anclar la etiqueta a una localización dada en el plano. Cuando el plano es aumentado, la etiqueta aparecerá a la misma distancia de su nudo de anclaje como si el plano se viese al completo. Ésta aplicación permite que las etiquetas no se alejen demasiado del objeto al que se describe cuando se hace un zoom.
2. El Tipo de Medidor y la ID son propiedades que determinan si la etiqueta actúa como un metro. Las etiquetas de medida muestran el valor del parámetro actual de investigación (elegido desde el Buscador del Plano) bajo la etiqueta de texto. El Tipo de Medidor y la ID debe referirse a un nudo o línea existente en la red. En caso contrario, solo la etiqueta de texto aparecerá.

**6.5. Editando Objetos No Visibles.**

Curvas, Patrones de Tiempo y Controles tienen editores especiales que se utilizan para definir sus propiedades. Para editar uno de éstos objetos, selecciona el objeto desde el Buscador de Datos y entonces aprieta el botón

Editar . Además, para las Conexiones el Editor de Propiedades tiene un botón punteado en el campo de Categorías de Demanda que abre un Editor de Demanda cuando se aprieta. De forma similar, el campo de Fuente de Calidad en el Editor de Propiedades para las Conexiones, Depósitos y



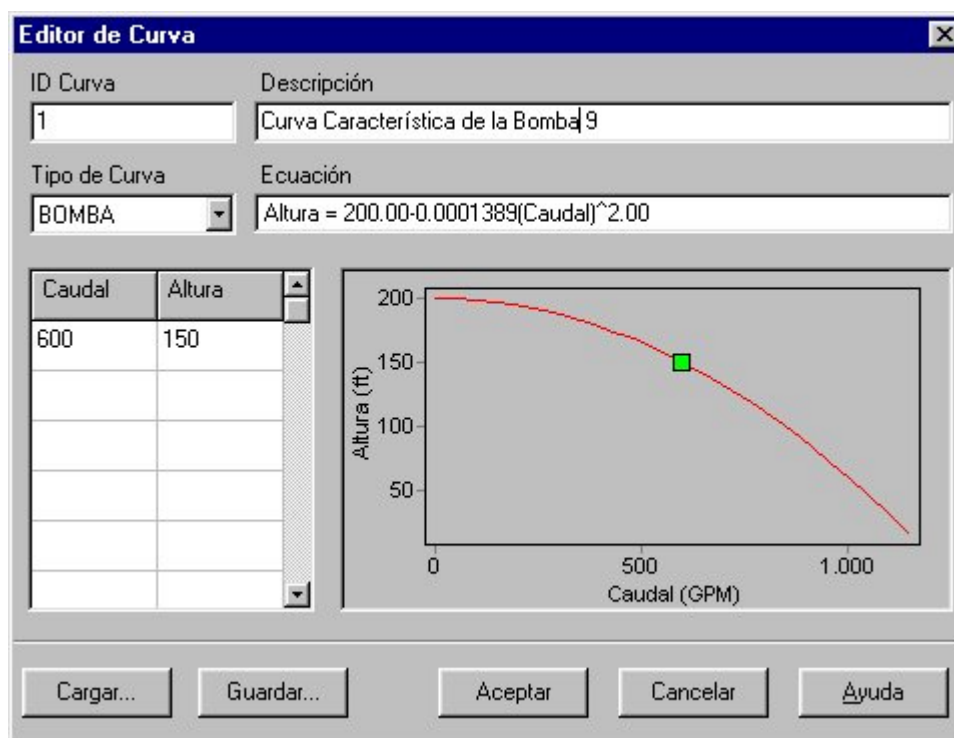
Tanques tiene un botón que abre un Editor de Fuente de Calidad especial. Cada uno de estos editores específicos se describen a continuación.

### 6.5.1. Editor de Curva (Curve Editor).

El Editor de Curva (Curve Editor) es un cuadro de diálogo como el mostrado en la Figura 6.1. Para utilizar éste editor, introduzca los valores en los siguientes campos:

<i>Campo</i>	<i>Descripción</i>
ID Curva (Curve ID)	Etiqueta ID de la curva (un máximo de 15 caracteres o números)
Descripción (Description)	Descripción opcional de lo que representa la curva
Tipo de Curva (Curve Type)	Tipo de curva
Datos X-Y	Coordenadas X e Y de los puntos de la curva

A medida que se mueve entre las celdas de la tabla de coordenadas (o presiona la tecla Enter después de introducir el dato) la curva se redibujará. Para curvas características de uno y tres puntos, la ecuación de la curva aparecerá en la caja Ecuación (Equation). Apriete el botón **Aceptar** (OK) para aceptar la curva o el botón **Cancelar** (Cancel) para cancelarla. También puede apretar el botón **Cargar** (Load) para cargar los datos de una curva que previamente se ha guardado o apretar el botón **Guardar** (Save) para guardar la curva actual en un archivo de datos.



**Figura 6.1.** Editor de Curva.

## 6.5.2. Editor de Patrón (Pattern Editor).

El Editor de Patrón, mostrado en la Figura 6.2, edita las propiedades del patrón de tiempos de un objeto. Para utilizarlo introduzca los valores en los siguientes campos:

Item	Descripción
ID Patrón (Pattern ID)	Etiqueta ID del patrón (un máximo de 15 caracteres o números)
Descripción (Description)	Descripción opcional de lo que el patrón representa
Factores (Multipliers)	Valor del factor para cada intervalo de tiempo del patrón.

A medida que los factores se introducen, la gráfica preliminar se redibujará para mostrar una representación del patrón. Si llega al final del Periodo de Tiempo (Time Period) disponible al introducir los factores, no tiene más que apretar la tecla **Enter** para añadir un nuevo periodo. Cuando termine de editar, haga clic en el botón **Aceptar** (OK) para aceptar el patrón o en el botón **Cancelar** (Cancel) para cancelar sus entradas. También puede pulsar el botón **Cargar** (Load) para cargar los datos de un patrón guardado en un fichero o pulsar el botón **Guardar** (Save) para salvar en un fichero los datos del patrón actual.

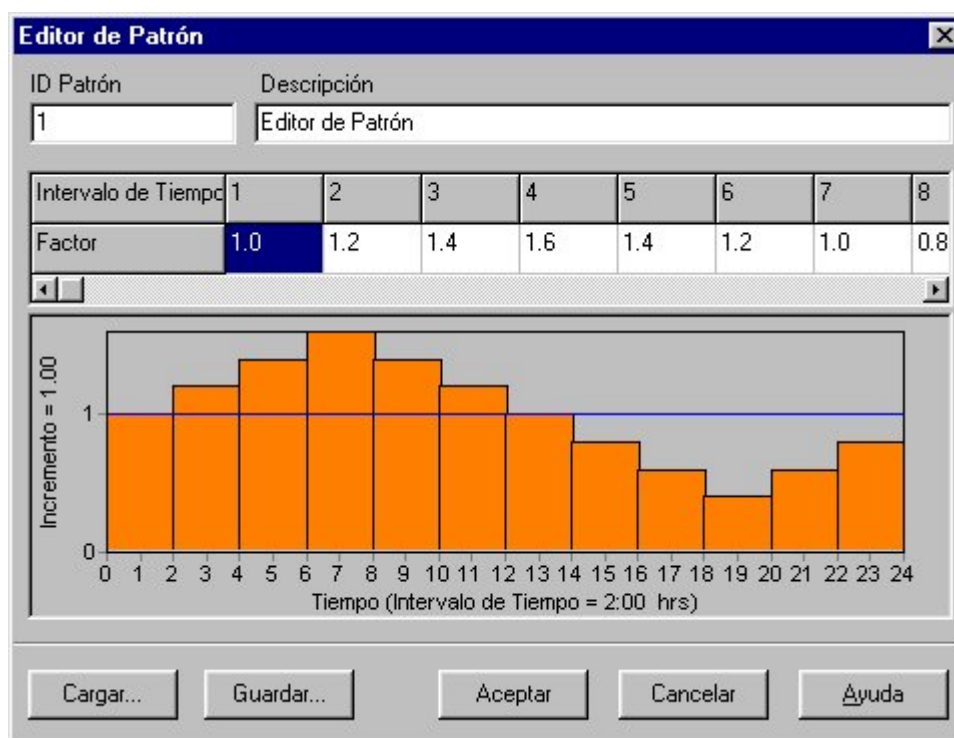
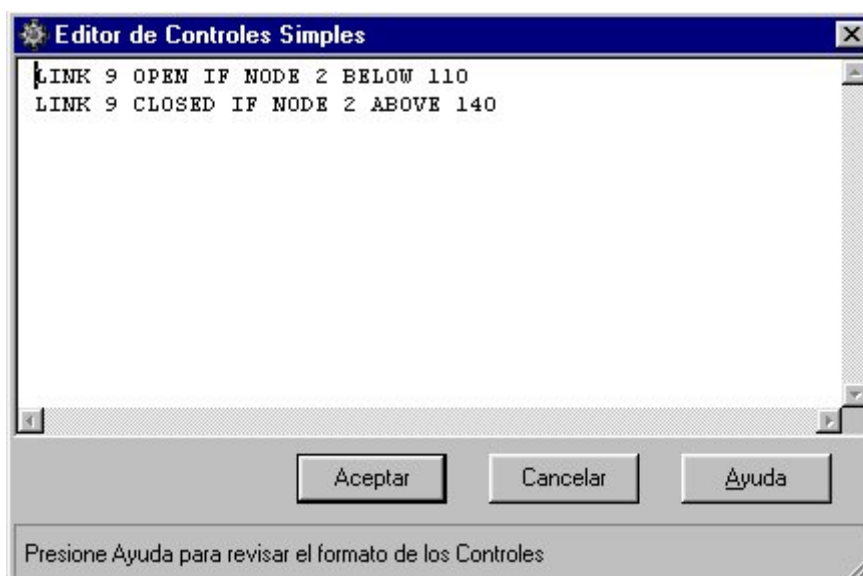


Figura 6.2. Editor de Patrón.

### 6.5.3. Editor de Controles (Controls Editor).

El Editor de Controles, mostrado en la Figura 6.3, es una ventana del editor de textos utilizada tanto para editar los Controles Simples como los Programados. Tiene un menú estándar de editor de texto que se abre apretando el botón derecho del ratón en cualquier lugar del Editor. El menú contiene comandos para Deshacer (Undo), Cortar (Cut), Copiar (Copy), Pegar (Paste), Borrar (Delete), y Seleccionar Todo (Select All).



**Figura 6.3.** Editor de Controles.

### 6.5.4. Editor de Demanda (Demand Editor).

El Editor de Demanda se muestra en Figura 6.4. Se utiliza para asignar las demandas base y el patrón de tiempos cuando hay más de un tipo de usuario en la conexión. El editor se llama desde el Editor de Propiedades presionando el botón punteado (o la tecla Enter) cuando el campo Categoría de Demanda está seleccionada.

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

- *Demanda Base (Base Demand)*: incremento o demanda base para cada tipo de demanda (necesario)
- *Patrón de Tiempo (Time Pattern)*: Etiqueta ID del patrón de tiempo utilizado para permitir que la demanda varíe con el tiempo (opcional)
- *Tipo de Demanda (Category)*: etiqueta de texto utilizada para identificar el tipo de demanda (opcional)

	Demanda Base	Patrón de Tiempo	Categoría
1	200	1	Domestica
2	10	2	Industria
3			
4			
5			
6			

**Figura 6.4.** Editor de Demanda.

Inicialmente la tabla tiene un tamaño de 10 filas. Para añadir más filas, seleccione cualquier celda de la última fila y apriete la tecla **Enter**.

**Nota:** Por convenio, la demanda colocada en la primera fila del editor se considerará la demanda principal en la conexión y aparecerá en el campo de Demanda Base del Editor de Propiedades.

#### 6.5.5. Editor de Fuente de Calidad (Source Quality Editor).

El Editor de Fuente de Calidad es un cuadro de diálogo emergente utilizado para describir la calidad de las fuentes de caudal en un nudo específico. Ésta fuente podría representar una planta de tratamiento principal, un pozo de cabecera o una planta de tratamiento intermedia, o una intrusión contaminante no deseada. El cuadro de diálogo, mostrado en la Figura 6.5, contiene los siguientes campos:

**Figura 6.5.** Editor Fuente de Calidad.

<i>Campo</i>	<i>Descripción</i>
Tipo de fuente (Source Type)	Seleccione: - Concentración (Concentration) - Aporte Másico (Mass Booster) - Aporte a caudales entrantes (Flow Paced Booster) - Concentración fija a la salida (Setpoint Booster)
Calidad de la Fuente (Source Quality)	Incremento o concentración base (o caudal másico por minuto) de la fuente. Dejar en blanco para borrar la fuente
Patrón de Calidad (Quality Pattern)	Etiqueta ID del patrón de tiempos utilizado para que la calidad de la fuente varíe con el tiempo. Dejar en blanco no es aplicable

Una fuente de calidad de agua puede considerarse como una concentración o una elevación de presión.

- Una **fuentes de concentración** (concentration source) fija la concentración de cualquier caudal entrante a la red, como caudal de un depósito o de una demanda negativa situada en la conexión.
- Una **fuentes de aporte másico** añade una masa fija de caudal entrante al nudo desde otro punto de la red.
- Un **aporte a caudales entrantes** añade una concentración fija resultante de la mezcla de todos los caudales entrantes al nudo desde cualquier punto de la red.
- Una **concentración fija a la salida** fija la concentración de cualquier caudal que deja el nudo (mientras la concentración de todos los caudales entrantes al nudo esté por debajo de éste parámetro).

Los diferentes tipos de fuentes de concentración se utilizan mucho mejor para nudos que representan fuentes de abastecimiento de agua o plantas de tratamiento (es decir, depósitos o nudos asignados con una demanda negativa). Los diferentes tipos de fuentes de aporte se utilizan mucho mejor para modelizar inyecciones directas de un trazador o un desinfectante adicional a la red o para modelizar una intrusión contaminante.

## 6.6. Copiando y Pegando Objetos.

Las propiedades de un objeto mostrado en el Plano de Red pueden ser copiadas y pegadas a otro objeto del mismo tipo. Para copiar las propiedades de un objeto en el portapapeles interno de EPANET:


1. Presione el botón derecho del ratón sobre el objeto en el plano.
2. Seleccione **Copiar** (Copy) en el menú que aparecerá.

Para pegar las propiedades copiadas en un objeto:

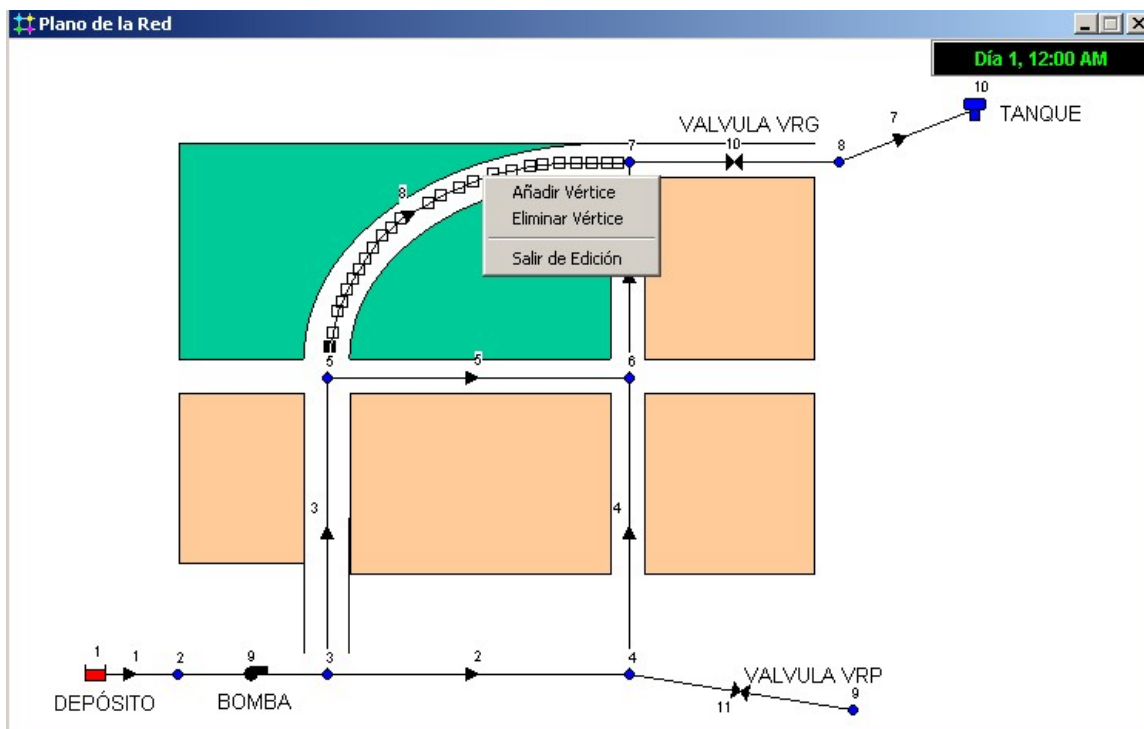
1. Presione el botón derecho del ratón sobre el objeto en el plano.
2. Seleccione **Pegar** (Paste) en el menú que aparecerá.

## 6.7. Cambiando e Invirtiendo Líneas.

Las líneas pueden ser dibujados como polilíneas que tienen un número de segmentos rectos que proporcionan el cambio de dirección y la curvatura a la línea. Una vez la línea ha sido dibujada en el plano, pueden añadirse los puntos interiores que definen éstos segmentos, borrarse, y moverse (ver Figura 6.6). Para editar los puntos interiores de una línea:

1. Seleccione la línea a editar en el Plano de Red y presione  en las herramientas de plano, o seleccione **Editar >> Seleccionar Vértice** (Edit >> Select Vertex) desde la Barra de Menú, o apretando el botón derecho del ratón sobre la línea y seleccionando **Vértices** (Vértices) en el menú que aparecerá.
2. El puntero del ratón cambiará su forma a una punta de flecha, y cualquier vértice existente en la línea se mostrará con unos pequeños asideros a su alrededor. Para seleccionar un vértice en particular, haga clic con el ratón sobre él.
3. Para añadir un nuevo vértice a la línea, apriete con el botón derecho y seleccione **Añadir Vértice** (Add Vertex) del menú que aparecerá, o simplemente presione la tecla **Insert** del teclado.
4. Para borrar el actual vértice seleccionado, presione sobre el botón derecho del ratón y seleccione **Borrar Vértice** (Delete Vertex) del menú que aparecerá, o simplemente presione la tecla **Suprimir** (Delete) en el teclado.
5. Para mover un vértice a otro punto, arrástrelo pulsando el botón izquierdo del ratón y suéltelo en su nueva posición.

6. Mientras se encuentre en el modo Selección de Vértices puede seguir editando los vértices de otra línea seleccionándola. Para dejar el modo Selección de Vértices, presione el botón derecho del ratón sobre el plano y seleccione **Salir de Edición** (Quit Editing) en el menú que aparecerá, o seleccione cualquier otro botón en las herramientas del plano.




**Figura 6.6.** Cambiando una línea.

Una línea también puede tener su dirección reversible presionando el botón derecho del ratón sobre él y seleccionando **Reversible** (Reverse) en el menú que aparecerá. Esto es útil para reorientar las bombas y válvulas que originalmente hemos añadido con la dirección equivocada.

### 6.8. Borrando un Objeto.

Para borrar un objeto:

1. Seleccione el objeto en el plano o desde el Buscador de Datos.
2. A continuación puede:

- presionar el botón  en la Barra de Herramientas Estándar,
- presionar el mismo botón en el Buscador de Datos,
- presionar la tecla **Suprimir** (Delete) en el teclado.

**Nota:** Puede requerir que todas las eliminaciones sean confirmadas antes de perderlas. Ver la página de Preferencias Generales en el cuadro de diálogo de Preferencias de Programa descrita en la Sección 4.9.

## 6.9. Moviendo un Objeto.


Para mover un nudo o etiqueta a otro punto del plano:

1. Seleccione el nudo o etiqueta.
2. Manteniendo el botón izquierdo del ratón presionado, arrástrelo a su nueva localización.
3. Suelte el botón izquierdo del ratón.

Por otra parte, pueden establecerse unas nuevas coordenadas X e Y de forma manual a un objeto a través del Editor de Propiedades. A la vez que se mueve un nudo se desplazan todas las líneas conectadas al mismo.


## 6.10. Seleccionando un Grupo de Objetos.

Para seleccionar un grupo de objetos que se encuentran en una sección irregular del plano de red:

1. Seleccione **Editar >> Seleccionar Región** (Edit >> Select Region) o presione el botón  en las herramientas de plano.
2. Dibuje una línea poligonal cerrada alrededor de la región de interés en el plano apretando el botón izquierdo del ratón sucesivamente en cada vértice del polígono.
3. Cierre el polígono apretando el botón derecho del ratón o la tecla **Enter**; Cancele la selección presionando la tecla **Escape**.



Para seleccionar todos los objetos que actualmente se ven en el plano seleccione **Editar >> Seleccionar Todo** (Edit >> Select All). (Los objetos fuera de la extensión visible del plano no se seleccionarán.)

Una vez un grupo a sido seleccionado, puede editar una propiedad común (ver la sección siguiente) o borrar los objetos seleccionados de la red. Para hacer esto último, presione  o presione la tecla **Suprimir** (Delete).

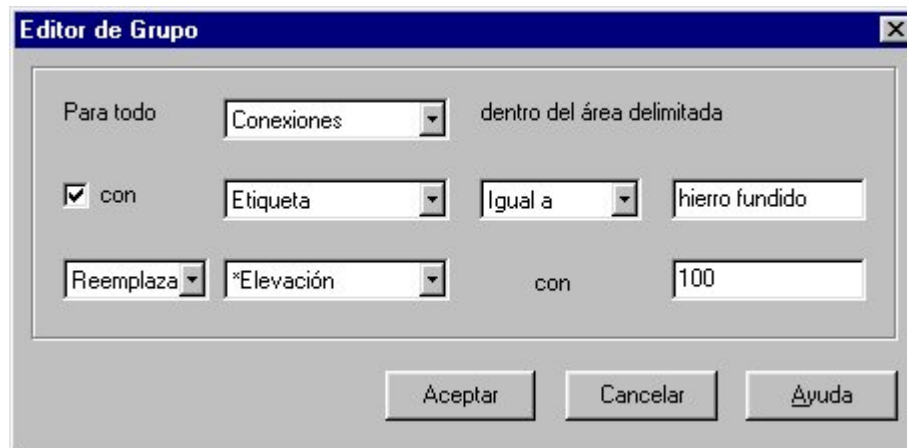
## 6.11. Editando un Grupo de Objetos.

Para editar una propiedad de un grupo de objetos:

1. Seleccione la región del plano que contendrá los objetos que quiere editar mediante el procedimiento descrito en la sección anterior.
2. Seleccione **Editar >> Editar Grupo** (Edit >> Group Edit) de la Barra de Menú.
3. Determine lo que quiere editar en el cuadro de diálogo Editar Grupo (Group Edit) que aparecerá.

El cuadro de diálogo Editar Grupo, mostrado en la Figura 6.6, se utiliza para modificar una propiedad del grupo de objetos seleccionado:

1. Seleccione un tipo de objeto a editar (Conexiones o Tuberías).
2. Marque el cuadro “con” ("with" box) si quiere añadir un filtro que limitará los objetos seleccionados para la edición. Seleccione una propiedad, relación y valor que define el filtro. Un ejemplo podría ser "con **Diámetro menor que 12**" (“with Diameter below 12”).
3. Seleccione el tipo de cambio – Reemplazar (Replace), Multiplicar (Multiply), o Añadir a (Add To).
4. Seleccione la propiedad a cambiar.
5. Introduzca el valor a reemplazar, multiplicar o ser añadido al valor existente.
6. Presione **Aceptar** (OK) para ejecutar el editor de grupo.



**Figura 6.7.** Editor de Grupo.

## CAPÍTULO 7. TRABAJANDO CON EL MAPA.

---

*EPANET muestra el plano de la red de tuberías que se modela. Éste capítulo describe cómo puede modificar este plano para aumentar la visualización del sistema que está siendo estudiado.*

### 7.1. Seleccionando una vista del Plano.

Uno de los usos de la página de Plano del Buscador (Sección 4.7) es seleccionar el parámetro de un nudo o línea para verlo en el plano. Los Parámetros se pueden ver en el plano utilizando colores, tal y como se especifica en las Leyendas de Plano (Map Legends), para ver diferentes rangos de valores.

Los parámetros de nudo disponibles que se pueden ver son:

- Cota o elevación (Elevation)
- Demanda Base (Base Demand), incremento o valor nominal
- Calidad Inicial (Initial Quality) del agua en el instante inicial
- \*Demanda Actual (Actual Demand), demanda total en el instante actual
- \*Altura piezométrica (Hydraulic Head), presión + carga
- \*Presión (Pressure)
- \*Calidad del Agua (Water Quality)

Los parámetros de línea disponibles que se pueden ver son:

- Longitud (Length)
- Diámetro (Diameter)
- Rugosidad (Roughness Coefficient)
- Coeficiente de Reacción en el flujo (Bulk Reaction Coefficient)
- Coeficiente de Reacción en la Pared (Wall Reaction Coefficient)
- \*Caudal (Flow Rate)
- \*Velocidad (Velocity)

- \*Pérdidas (Headloss), por 1000 metros (o pies) de tubería
- \*Factor de Fricción (Friction Factor), tal y como se utiliza en la ecuación de pérdidas de Darcy-Weisbach
- \*Velocidad de Reacción (Reaction Rate), incremento con la longitud de la tubería
- \*Calidad del Agua (Water Quality), incremento con la longitud de la tubería

Aquellas que se encuentran marcadas con un asterisco (\*) son variables calculadas cuyos valores sólo se encontrarán disponibles si se ha realizado un análisis con éxito (ver Capítulo 8 – Analizando un Sistema).

## 7.2. Configurando las Dimensiones del Plano.

Las dimensiones físicas del plano deben definirse para que puedan escalarse las coordenadas del mismo acorde a la visualización en pantalla. Para configurar las dimensiones del plano:

1. Seleccione **Ver >> Dimensiones** (View >> Dimensions).
2. Introduzca las nuevas dimensiones en el cuadro de diálogo Dimensiones de Plano (Map Dimensions) que aparece (ver Figura 7.1) o presione el botón de **Autodimensionado** (Auto-size) para tener las dimensiones de EPANET calculadas en función de las coordenadas de los objetos que actualmente se encuentran en la red.
3. Presione el botón **Aceptar** (OK) para redimensionar el plano.

The dialog box titled "Dimensiones del Plano" contains the following elements:

- Inferior Izquierda:**
  - Coordenada X: 7.00
  - Coordenada Y: 6.00
- Superior Derecha:**
  - Coordenada X: 73.00
  - Coordenada Y: 94.00
- Unidades de Mapa:**
  - Pies
  - Metros
  - Grados
  - Ninguna
- Buttons:** Autodimensionar, Aceptar, Cancelar, Ayuda

**Figura 7.1.** Dimensiones de Plano.

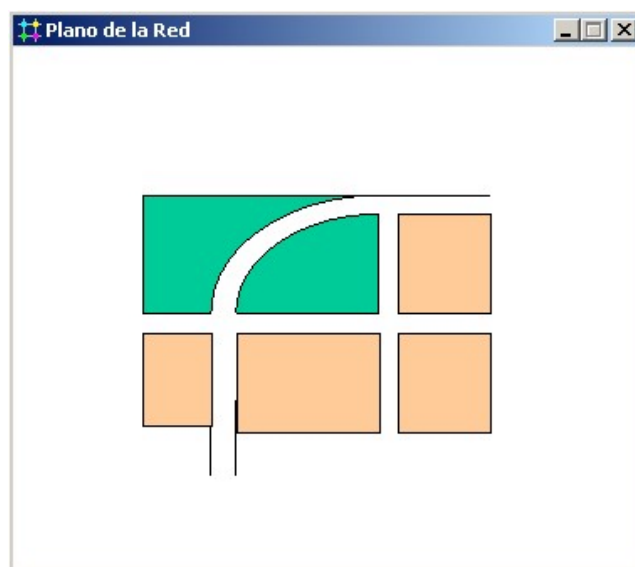
La información que se suministra en el cuadro de diálogo Dimensiones de Plano consiste en lo siguiente:

<i>Campo</i>	<i>Descripción</i>
Coordenadas Inferiores Izquierdas (Lower Left Coordinates)	Coordenadas X e Y de la esquina inferior izquierda del plano.
Coordenadas Superiores Derechas (Upper Right Coordinates)	Coordenadas X e Y de la esquina superior derecha del plano.
Unidades de Plano (Map Units)	Unidades utilizadas para medir las distancias en el plano. Las elecciones son Pies (Feet), Metros (Meters), Grados (Degrees), y Ninguna (None), es decir, unidades arbitrarias.

**Nota:** Si va a utilizar un plano de fondo con el cálculo automático de la longitud de tubería, entonces es recomendable que especifique las dimensiones del plano inmediatamente después de haber creado el nuevo proyecto. Las unidades de distancia del plano pueden ser diferentes que las unidades de longitud de las tuberías. Esto último (pies o metros) depende de las unidades que se seleccionen para el caudal, SI o americano. EPANET convertirá automáticamente las unidades si es necesario.

### 7.3. Utilizando un Plano de Fondo.

EPANET puede mostrar un plano de fondo detrás del plano de tuberías del sistema. El plano de fondo puede ser un mapa urbano, un plano de servicio, un mapa topográfico, el plano de una urbanización, o cualquier otro cuadro o dibujo que pueda ser útil. Por ejemplo, utilizando un plano urbano se simplificaría el proceso de añadir tuberías a la red desde el momento en que usted puede colocar los nudos y líneas directamente sobre él.



El plano de fondo debe ser un archivo metafile o un mapa de bits de Windows creado al margen de EPANET. Una vez ha sido importado, sus características no pueden cambiarse y su escala y extensión cambiarán en el momento que apliquemos el zoom a la ventana del plano. Por ésta razón los archivos metafile trabajan mucho mejor que el mapa de bits ya que no pierden resolución cuando cambian su escala. La mayoría de los programas tipo CAD y GIS tienen la posibilidad de guardar sus dibujos y planos como archivo metafile.

Seleccionando **Ver >> Fondo** (View >> Backdrop) desde la Barra de Menú se mostrará un menú con los siguientes comandos:

- **Cargar** (Load), carga el fichero de un plano de fondo en el proyecto
- **Descargar** (Unload), descarga el plano de fondo desde el proyecto
- **Alinear** (Align), alinea la red de tuberías con el fondo
- **Mostrar/Esconder**, (Show/Hide) activa y desactiva el fondo


Cuando se carga por primera vez, la imagen de fondo aparece haciendo coincidir su esquina superior izquierda con la del cuadro del sistema. El fondo puede resituarse en relación al plano del sistema seleccionando **Ver >> Fondo >> Alinear** (View >> Backdrop >> Align). Esto nos permite mover el plano de tuberías del sistema sobre el fondo (moviendo el ratón manteniendo el botón izquierdo apretado) hasta que decidamos que está correctamente situado. El nombre del fichero del fondo y su alineación actual se guardarán con el resto de la información del proyecto cuando guardemos éste en un fichero.

Para un mejor resultado en la utilización del fondo:

- Utilice un archivo metafile, no un mapa de bits.
- Dimensione el plano del sistema de tal forma que su aspecto geométrico sea similar al del fondo (ancho y alto).


## 7.4. Zoom del Plano.

Para Acercarse (Zoom In) en el plano:

1. Seleccione **Ver >> Zoom In** (View >> Zoom In) o presione  en las herramientas de plano.


2. Para hacer un zoom al 100%, sitúe el ratón en el centro del área a ampliar y presione el botón izquierdo.
3. Para realizar un zoom personal, mueva el ratón a la esquina superior izquierda del área a aumentar y con el botón izquierdo apretado, dibuje un rectángulo alrededor de dicha área. Entonces suelte el botón.

Para Alejarse en el plano:

1. Seleccione **Ver >> Zoom Out** (View >> Zoom Out) o presione  en las herramientas de plano.
2. Mueva el ratón al centro del área en cuestión y presione el botón izquierdo.
3. El plano volverá al zoom anterior.

## 7.5. Desplazando el Plano.

Para desplazar el plano en la Ventana del Plano:

1. Seleccione **Ver >> Desplazar** (View >> Pan) o presione  en las herramientas de plano.
2. Con el botón izquierdo apretado sobre cualquier punto, arrastre el ratón en la dirección que desee desplazarse.
3. Suelte el botón del ratón para completar el desplazamiento.


Para desplazarse utilizando la Vista General del Plano (la cual se describe en la Sección 7.7):

1. Si no está visible, abra la Vista General del Plano seleccionando **Ver >> Vista General** (View >> Overview Map).
2. Coloque el ratón en la ventana de zoom que se ve en la ventana de Vista General del Plano.
3. Con el botón izquierdo presionado, arrastre la ventana de zoom a la nueva posición.

4. Suelte el botón del ratón y el plano principal se desplazará al área correspondiente con la ventana de zoom en la Vista General.

## 7.6. Encontrando un Objeto.

Para encontrar un nudo o línea en el plano cuya etiqueta ID es conocida:

1. Seleccione **Ver >> Encontrar** (View >> Find) o presione  en la Barra de Herramientas Estándar.
2. En el cuadro de diálogo del Marcador de Plano (Map Finder) que aparece, seleccione **Nudo** (Node) o **Línea** (Link) e introduzca la etiqueta ID.
3. Pulse **Encontrar** (Find).

Si el nudo/línea existe éste se remarcará en el plano y en el Buscador. Si el nudo no se encuentra visible en pantalla, el plano se desplazará hasta que ese nudo/línea entre en pantalla. El cuadro de diálogo del Marcador de Plano (Map Finder) mostrará una lista de las etiquetas ID de las líneas que se conectan al nudo o de los nudos a los que está conectada la línea.

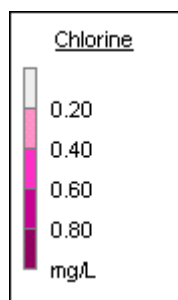
Para encontrar una lista de todos los nudos que funcionan como fuentes de calidad de agua:

1. Seleccione **Ver >> Encontrar** (View >> Find) o presione en la Barra de Herramientas Estándar.
2. En el cuadro de diálogo del Marcador de Plano que aparece, seleccione **Fuentes** (Sources).
3. Pulse **Encontrar** (Find).

Las etiquetas ID de todos los nudos fuentes de calidad aparecerán en una lista en el Marcador de Plano. Presionando en cualquier etiqueta ID se remarcará el nudo en el plano.



## 7.7. Leyendas de Plano.



Existen tres tipos de leyendas de plano que se pueden utilizar. Leyendas de Nudo (Node Legend) y Leyendas de Línea (Link Legend) que asocian un color a un rango de valores del parámetro que se muestra actualmente en el plano. Leyendas de Tiempo que muestran un reloj con el tiempo de simulación. Para ver u ocultar cualquiera de éstas leyendas activa o desactiva la leyenda desde **Ver >> Leyendas** (View >> Legends) en el menú o presione el botón derecho del ratón sobre el plano y seleccione lo mismo en el menú que aparecerá. Haciendo doble clic con el ratón sobre una leyenda visible puede ocultarla.

Para mover una leyenda a otra posición:

1. Presione el botón izquierdo del ratón sobre la leyenda.
2. Manteniéndolo apretado, arrastre la leyenda hasta su nueva posición y suéltelo.

Para editar la Leyenda de Nudo:

1. Seleccione **Ver >> Leyendas >> Modificar >> Nudo** (View >> Legends >> Modify >> Node) o presione el botón derecho del ratón sobre la leyenda si está visible.
2. Utilice el Editor de Leyenda (Legend Editor) que aparece (ver Figura 7.2) para modificar los colores e intervalos de la misma.

Un método similar se utilizará para editar la Leyenda de Línea.

El Editor de Leyenda (Figura 7.2) se utiliza para determinar los rangos numéricos asociados a cada color para ver un parámetro en particular en el plano de red:

- Valores numéricos, en orden creciente, se introducen en las cajas de edición para definir los rangos. No es necesario que las cuatro cajas tengan valor.
- Para cambiar un color, presione la paleta de colores en el Editor y entonces seleccione un nuevo color desde el cuadro de diálogo de colores que aparecerá.

- Presione el botón **Intervalos Iguales** (Equal Intervals) para asignar rangos basados en la división del rango de valores del parámetro en el periodo de tiempo actual en intervalos iguales.
- Presione el botón **Cantidades Iguales** (Equal Quantiles) para asignar rangos de tal forma que hay el mismo número de objetos con cada rango, basado en los valores existentes en el periodo de tiempo actual.
- El botón **Paleta de Color** (Color Ramp) se utiliza para seleccionar de una lista la paleta de colores de la leyenda.
- El botón **Invertir Color** (Reverse Colors) invierte el orden de los colores que utiliza la leyenda (el color de menor rango se convierte en el de mayor rango y así todos los demás).
- Marque **Recuadrar** (Framed) si quiere que se dibuje un cuadro (margen) alrededor de la leyenda.

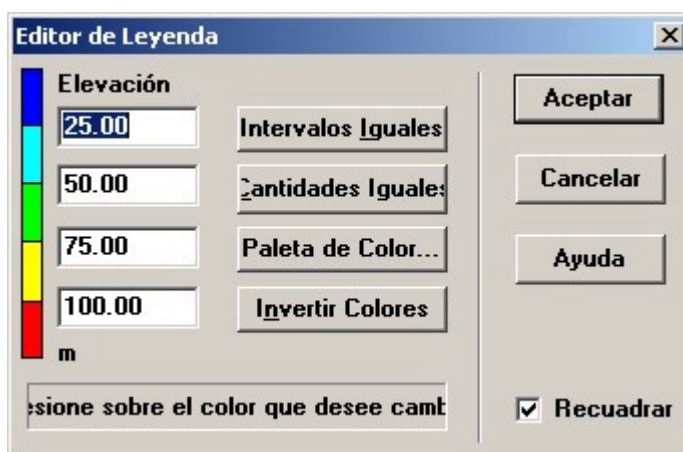


Figura 7.2. Editor de Leyenda.


## 7.8. Vista General del Plano.



La Vista General le permite ver que lugar del total de la red de tuberías está viendo en la ventana Plano de Red. Ésta zona se encontrará recuadrada en la ventana de Vista General. A medida que arrastre éste rectángulo a otra posición el plano principal se actualizará. La ventana de Vista General se puede activar o desactivar seleccionando **Ver >> Vista General (View >> Overview Map)**. Presionando con el ratón en su barra de título actualizará su imagen del plano igual a la del plano principal de la red.

## 7.9. Opciones Visuales del Plano.

Existen diferentes formas de abrir la ventana de Opciones de Plano (Figura 7.3) utilizada para cambiar la apariencia del Plano de Red:

- Seleccione **Ver >> Opciones** (View >> Options),
- presione el botón de Opciones  en la Barra de Herramientas Estándar cuando la ventana del Plano está seleccionada,
- presione el botón derecho del ratón en cualquier zona vacía del plano y seleccione **Opciones** (Options) en el menú que aparece.



**Figura 7.3.** Opciones de Plano.

El cuadro de diálogo contiene páginas separadas, que se seleccionan desde el panel de la izquierda, para cada una de las siguientes categorías:

- *Nudos (Nodes)*, controla el tamaño de los nudos y lo hace proporcional a un valor
- *Líneas (Links)*, controla la delgadez de las líneas y lo hace proporcional a un valor
- *Etiquetas (Labels)*, muestra o esconde las etiquetas en el plano
- *Notación (Notation)*, muestra o esconde las etiquetas ID de los nudos/líneas y el valor de un parámetro
- *Símbolos (Symbols)*, activa o desactiva los símbolos de los tanques, bombas, válvulas

- *Flechas de Caudal (Flow Arrows)*, activa y selecciona el diseño de las flechas de dirección de caudal
- *Fondo (Background)*, cambia el color del fondo del plano

### 7.9.1. Opciones de Nudo.

La página de Nudo en las Opciones de Plano controla cómo se muestran los nudos en el Plano de Red.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Tamaño de Nudo (Node Size)	Selecciona el diámetro del nudo
Proporcional a Valor (Proportional to Value)	Selecciona si el tamaño del nudo debería incrementarse con el incremento del valor del parámetro
Mostrar Borde (Display Border)	Si se selecciona se bordeará el nudo con una línea (es recomendable si se utilizan fondos de colores)
Mostrar Conexiones (Display Junctions)	Muestra las conexiones nudo (todas las conexiones se ocultarán si ésta opción no es seleccionada).

### 7.9.2. Opciones de Línea.

La página de Línea del cuadro de Opciones del Plano controla cómo se muestran éstos en el plano.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Tamaño de Línea (Link Size)	Determina la delgadez de las líneas en el plano
Proporcional a Valor (Proportional to Value)	Selecciona si la delgadez de la línea debería incrementarse con el incremento del valor del parámetro

### 7.9.3. Opciones de Etiqueta.

La página de Etiquetas del cuadro de Opciones de Plano controla cómo se muestran las mismas en el plano.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Mostrar Etiquetas (Display Labels)	Muestra las etiquetas de plano (las etiquetas se ocultarán si ésta opción no se elige)
Usar Texto Transparente (Use Transparent Text)	Muestra las etiquetas con un fondo transparente (en caso contrario se utiliza un fondo opaco)
Zoom a (At Zoom Of)	Selecciona el zoom mínimo a partir del cuál se ven las etiquetas; las etiquetas se ocultarán con zoom más pequeño que éste a menos que sean etiquetas contador

#### 7.9.4. Opciones de Notación.

La página de Notación del cuadro de Opciones de Plano determina el tipo de anotación asignada a nudos y líneas en el plano.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Mostrar IDs de Nudo (Display Node IDs)	Muestra las etiquetas ID de los nudos
Mostrar Valor de Nudo (Display Node Values)	Muestra el valor actual del parámetro de estudio en el nudo
Mostrar ID's de Línea (Display Link IDs)	Muestra las etiquetas ID de las líneas
Mostrar Valor de Línea (Display Link Values)	Muestra el valor actual del parámetro de estudio en la línea
Usar Texto Transparente (Use Transparent Text)	Muestra el texto con un fondo transparente (en caso contrario se utiliza un fondo opaco)
Zoom a (At Zoom Of)	Selecciona el zoom mínimo a partir del cuál se ven las anotaciones; éstas se ocultarán con zoom más pequeño que éste

**Nota:** Los valores del parámetro de estudio actual en nudos y líneas específicos pueden verse creando Etiquetas de Plano con contadores para éstos objetos. Ver las secciones 6.2 y 6.4 así como la Tabla 6.7.

#### 7.9.5. Opciones de Símbolo.

La página de Símbolos del cuadro de Opciones de Plano determina que tipo de objetos se representan con símbolos especiales en el plano.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Mostrar Tanques (Display Tanks)	Muestra el símbolo de Tanque
Mostrar Bombas (Display Pumps)	Muestra el símbolo de Bomba
Mostrar Válvulas (Display Valves)	Muestra el símbolo de Válvula
Mostrar Emisores (Display Emitters)	Muestra el símbolo de Emisor
Mostrar Fuentes (Display Sources)	Muestra el símbolo + para las fuentes de calidad de agua
Zoom a (At Zoom Of)	Selecciona el zoom mínimo a partir del cuál se ven los símbolos; éstos se ocultarán con zoom más pequeño que éste

#### 7.9.6. Opciones de Flecha de Caudal.

La página de Flechas de Caudal en el cuadro de Opciones de Plano controla cómo se muestran éstas en el Plano de Red.

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Estilo de Flecha (Arrow Style)	Selecciona el estilo (forma) de la flecha, si selecciona Ninguno (None) se ocultarán
Tamaño de Flecha (Arrow Size)	Determina el tamaño de flecha
Zoom a (At Zoom Of)	Selecciona el zoom mínimo a partir del cuál se ven las flechas; éstas se ocultarán con zoom más pequeño que éste

**Nota:** Las flechas de dirección de caudal sólo se mostrarán una vez el sistema haya sido analizado correctamente (ver Sección 8.2 Iniciando un Análisis).

#### 7.9.7. Opciones de Fondo.


La página de Fondo del cuadro de Opciones de Plano ofrece una selección de colores a utilizar como plano de fondo.

## CAPÍTULO 8. ANALIZANDO UN SISTEMA.

*Después de que una red ha sido convenientemente descrita, su comportamiento hidráulico y calidad del agua pueden ser analizados. Éste capítulo describe cómo especificar las opciones a utilizar en el análisis, cómo iniciar el análisis y cómo resolver los problemas que podrían aparecer en el análisis.*

### 8.1. Configuración de las Opciones de Análisis.

Existen cinco categorías de opciones que controlan cómo EPANET analiza un sistema: Hidráulicas (Hydraulics), de Calidad (Quality), de Reacción (Reactions), de Tiempo (Times), y de Energía (Energy). Para configurar cualquiera de éstas opciones:

1. Seleccione el tipo de Opciones desde el Buscador de Datos o seleccione **Proyecto >> Opciones de Análisis** (Project >> Analysis Options) desde la barra de menú.
2. Seleccione Hidráulicas, Calidad, Reacción, Tiempo o Energía desde el Buscador.
3. Si el Editor de Propiedades no está visible, presione el botón Editar del Buscador  (presione la tecla **Enter**).
4. Edite la opción elegida en el Editor de Propiedades.

Según está configurando un tipo de opción en el Editor de Propiedades puede moverse a la categoría anterior o a la siguiente utilizando las teclas **RePág** (Page Down) o **AvPág** (Page Up), respectivamente.

#### 8.1.1. Opciones Hidráulicas.

Las Opciones Hidráulicas controlan cómo se llevan a cabo los cálculos hidráulicos. Consisten en las siguientes opciones:

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Unidades de Caudal (Flow Units)	Unidades en las que se expresan las demandas nodales y el caudal en las líneas. Eligiendo unidades en galones, pies cúbicos o acre-pies implica que las unidades para el resto de valores del sistema

	serán americanas. Eligiendo litros o metros cúbicos todas las unidades pertenecerán al SI. Vaya con cuidado cuando cambie las unidades de caudal ya que podría afectar a todos los demás datos del proyecto. (Ver Apéndice A, Unidades de Medida.)
Ecuación de Pérdidas (Headloss Formula)	<p>Ecuación utilizada para calcular las pérdidas en función del caudal en las tuberías. Las elecciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hazen-Williams</li> <li>• Darcy-Weisbach</li> <li>• Chezy-Manning</li> </ul> <p>Como cada fórmula mide la rugosidad de la tubería de una forma, elegir alguna de ellas podría requerir que el coeficiente de rugosidad de la tubería se actualizase.</p>
Gravedad Específica (Specific Gravity)	Ratio de densidad del fluido de estudio con respecto al agua a 4°C (adimensional).
Viscosidad Relativa (Relative Viscosity)	Ratio de la viscosidad cinemática del fluido con respecto al agua a 20°C (1.0 centistoke o 0.94 sq ft/día) (adimensional).
Máxima Iteración (Maximum Trials)	Máximo número de iteraciones realizadas para resolver las ecuaciones no lineales que gobiernan la hidráulica del sistema en un punto dado en el tiempo. Valor sugerido 40.
Precisión (Accuracy)	Criterio de convergencia utilizado para señalar que la solución a la ecuación no lineal se ha encontrado. Las iteraciones terminan cuando la suma de todos los caudales cambiantes dividido por la suma de todos los caudales de línea es menor que éste número. Valor recomendado 0.001.
Indeterminación (If Unbalanced)	Acción a realizar si la solución hidráulica no ha sido encontrada en el número máximo de iteraciones. Las elecciones son DETENER (STOP), parar la simulación en ese punto o CONTINUAR (CONTINUE), iterar 10 veces más, sin que el estado de la línea cambie, en un intento de lograr la convergencia.
Patrón Predeterminado (Default Pattern)	Etiqueta ID del patrón de tiempo para asignar a las demandas de aquellas conexiones que no tienen un patrón de tiempo especificado. Si no existe ningún patrón entonces las demandas en esas conexiones no variarán.
Factores de Demanda (Demand Multiplier)	Factores generales aplicados a todas las demandas para hacer que el consumo total del sistema varíe por encima y por debajo de un valor fijo. Ejemplo, 2.0 dobla todas las demandas, 0.5 las divide, y 1.0 las deja como están.
Exponente del Emisor (Emitter Exponent)	Potencia a la cual es elevada la presión cuando se calcula el paso de caudal a través de un dispositivo emisor. El valor teórico para aspersores y toberas es ½. Consulte la explicación de los Emisores en la Sección 3.1 para más detalles.
Informe de Estado (Status Report)	<p>Elección de la información de estado a reflejar en el informe después del análisis. Las posibilidades son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• NINGUNA (NONE), no hay informe</li> <li>• SI (YES), informe estándar – listas de los cambios de estado en los elementos a lo largo de la simulación</li> <li>• COMPLETO (FULL), informe completo – informe estándar más los errores de convergencia en cada iteración</li> </ul>



del análisis hidráulico hecho en cada intervalo de tiempo

El informe completo solamente se utiliza para la eliminación de errores o encontrar la solución de algún problema.

**Nota:** Las elecciones de las Opciones hidráulicas también se pueden determinar desde el menú **Proyecto >> Predeterminado** (Project >> Defaults) y guardarse para futuros proyectos (ver Sección 5.2).

### 8.1.2. Opciones de Calidad de Agua.

Las Opciones de Calidad de Agua controlan como se lleva a cabo el análisis de Calidad. Consisten en lo siguiente:

<i>Opciones</i>	<i>Descripción</i>
Parámetro (Parameter)	<p>Parámetro de Calidad del Agua que se está estudiando. Las elecciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• NINGUNO (NONE), no hay análisis de calidad,</li> <li>• QUÍMICO (CHEMICAL), calcula la concentración química,</li> <li>• EDAD (AGE), calcula la edad del agua,</li> <li>• SEGUIMIENTO (TRACE), sigue (traza) la parte de caudal que se ha originado en un nudo específico.</li> </ul> <p>En lugar de QUÍMICO, puede introducir el nombre real del proceso químico que se está simulando; por ejemplo, Cloro (Chlorine).</p>
Unidades Másicas (Mass Units)	Unidades de masa utilizadas para expresar la concentración. Las elecciones son mg/L o µg/L. Las unidades para los análisis de Edad y Seguimiento se fijan en horas y percentiles, respectivamente.
Difusividad Relativa (Relative Diffusivity)	Ratio de la difusividad molecular del elemento químico estudiado con respecto al cloro a 20°C (0.00112 sq ft/día). Utilice 2 si la difusividad química es el doble de rápida que la del cloro, 0.5 si es la mitad, etc. Se aplica sólo cuando existe transferencia de masa con las reacciones en la pared de la tubería. Tendrá el valor de cero cuando ignoremos los efectos de transferencia de masa.
Nudo Traza (Trace Node)	Etiqueta ID del nudo origen del caudal al que se le realiza el seguimiento. Se aplica sólo cuando existe análisis de seguimiento.
Tolerancia de Calidad (Quality Tolerance)	Menor incremento en la calidad que produce que se cree una nueva parcela de agua en la tubería. Un valor típico podría ser 0.01 para las mediciones químicas en mg/L tanto en la edad del agua como en el seguimiento de fuentes.

**Nota:** La Tolerancia de Calidad determina cuando la calidad de una parcela de agua es esencialmente la misma que la de otra parcela. Para el análisis químico éste podría ser la forma de determinar el límite del procedimiento utilizado para medir el comportamiento químico, ajustado por un factor de seguridad. El utilizar valores demasiado grandes para ésta tolerancia podría afectar a la precisión de la simulación. Utilizar valores demasiado pequeños podría afectar a la

capacidad del ordenador. Podría llevarse a cabo algún tipo de experimentación con éste parámetro.

### 8.1.3. Opciones de Reacción.

Las Opciones de Reacción configuran los tipos de reacciones que se producen en el análisis de calidad del agua. Entre ellas se incluyen las siguientes:

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Orden de la Reacción en el Seno (Bulk Reaction Order)	Potencia a la cual se eleva la concentración cuando calculamos la velocidad de reacción en el seno del flujo. Utilice 1 para reacciones de primer orden, 2 para las de segundo orden, etc. Utilice cualquier número negativo para la cinética de Michaelis-Menten. Si no se ha asignado ningún coeficiente global o específico de las reacciones en el seno de las tuberías entonces ésta opción es ignorada.
Orden de la reacción en la Pared (Wall Reaction Order)	Potencia a la cual se eleva la concentración cuando calculamos la velocidad de reacción en la pared de la tubería. Las posibilidades son: PRIMER (FIRST), 1, para las reacciones de primer orden o CERO (ZERO), 0, para las velocidades de reacción constantes. Si no se ha asignado ningún coeficiente global o específico de las reacciones en la pared de la tubería entonces ésta opción es ignorada.
Coefficiente Global de Flujo (Global Bulk Coefficient)	Coefficiente predeterminado de la velocidad de reacción en el flujo ( $K_b$ ) asignado a todas las tuberías. Éste coeficiente global puede ignorarse configurando ésta propiedad específica para cada tubería. Utilice un número positivo para el crecimiento, uno negativo para el descenso, o cero si no se produce reacción en el flujo. Las unidades son concentraciones elevadas a $(1-n)$ y dividida por días, donde $n$ es el orden de la reacción en el flujo.
Coefficiente Global en la Pared (Global Wall Coefficient)	Coefficiente de velocidad de reacción en la pared ( $K_w$ ) asignado a todas las tuberías. Puede ignorarse configurando ésta propiedad específica para cada tubería. Utilice un número positivo para el crecimiento, uno negativo para el descenso, o cero si no se produce reacción en la pared. Las unidades son ft/día (US) o m/día (SI) para las reacciones de primer orden y masa/sq ft/día (US) o masa/sq m/día (SI) para las reacciones de orden cero.
Concentración Límite (Limiting Concentration)	Máxima concentración a la que una sustancia puede crecer o mínimo valor al que puede descender. Las velocidades de reacción en el flujo serán proporcionales a la diferencia entre la concentración de la corriente y éste valor. Ver la explicación de Reacciones en el Flujo en la Sección 3.4 para más detalles. Dé el valor 0 si no se aplica.
Factor de Correlación (Wall Coefficient Correlation)	Factor que correlaciona el coeficiente de reacción en la pared con la rugosidad de la tubería. Ver la explicación de Reacciones en la Pared en la Sección 3.4 para más detalles. Dé el valor 0 si no se aplica.

#### 8.1.4. Opciones de Tiempo.

Las Opciones de Tiempo configuran los valores de los diferentes intervalos de tiempo que se utilizan en la simulación de periodo extendido. Éstos se muestran a continuación (los tiempos pueden ser introducidos en horas decimales o en notación horaria):

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Duración Total (Total Duration)	Duración total de la simulación en horas. Utilice 0 para simular un único intervalo del análisis hidráulico.
Periodo Hidráulico (Hydraulic Time Step)	Intervalo de tiempo de cálculo del sistema hidráulico. El valor predeterminado es 1 hora.
Periodo de Calidad (Quality Time Step)	Intervalo de tiempo de seguimiento del constituyente de la calidad del agua. El valor predeterminado es 5 minutos (0:05 horas).
Periodo de Patrón (Pattern Time Step)	Intervalo de tiempo utilizado en todos los patrones de tiempo. El valor predeterminado es 1 hora.
Tiempo Inicio del Patrón (Pattern Start Time)	Horas en todos los patrones de tiempo a la que empieza la simulación (por ejemplo, un valor de 2 significa que la simulación empieza con todos los patrones de tiempo comenzando a su segunda hora). El valor predeterminado es 0.
Periodo de Informe (Reporting Time Step)	Intervalo de tiempo de los resultados calculados que se muestran en el informe. El valor predeterminado es 1 hora.
Tiempo Inicio de Informe (Report Start Time)	Horas en la simulación a las que se empieza a informar de los resultados calculados. El valor predeterminado es 0.
Tiempo Inicio Horario (Starting Time of Day)	Tiempo de reloj (por ejemplo, 7:30 am, 10:00 pm) al que empieza la simulación. Por defecto es 12:00 am (medianoche).
Estadística (Statistic)	Tipo de procedimiento estadístico utilizado para promediar los resultados de la simulación de periodo extendido. Las posibilidades son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• NINGUNO (NONE), se informa de los resultados en cada periodo de informe</li> <li>• PROMEDIO (AVERAGE), resultados en tiempo promedio</li> <li>• MÍNIMO (MINIMUM), mínimo valor de los resultados</li> <li>• MÁXIMO (MAXIMUM), máximo valor de los resultados</li> <li>• RANGO (RANGE), diferencia entre el máximo y el mínimo</li> </ul> <p>El método estadístico se aplica a todos los resultados de nudos y líneas obtenidos entre el Tiempo Inicio de Informe y la Duración Total.</p>

**Nota:** Para iniciar un análisis en régimen permanente escriba un cero en Duración Total. En éste caso las entradas para todas las demás opciones, excepto el Tiempo Inicio Horario, no se usan. Los análisis de calidad del agua siempre requieren que se especifique una Duración Total no nula.


### 8.1.5. Opciones de Energía.


Las Opciones de Energía del análisis proveen valores predeterminados utilizados en el cálculo de la potencia de la bomba y el coste cuando no se especifican éstos parámetros en la bomba. Éstos consisten en lo siguiente:

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Rendimiento (%) (Pump Efficiency)	Rendimiento predeterminado de la bomba.
Precio de la Energía (Energy Price per Kwh)	Precio de la energía por Kilovatio-hora. Las unidades monetarias no se representan explícitamente.
Patrón de Precio (Price Pattern)	Etiqueta ID del patrón de precios utilizado para representar las variaciones en el precio de la energía con el tiempo. Si lo deja en blanco no se aplicará.
Demanda de Carga (Demand Charge)	Carga adicional de energía por sobrepasar el nivel máximo de energía.

## 8.2. Inicio del Análisis.

Para arrancar un análisis hidráulico/calidad del agua:

1. Seleccione Proyecto >> Iniciar Análisis (**Project >> Run Analysis**) o presione  en la Barra de Herramientas Estándar.
2. El progreso del análisis se mostrará en una ventana de Estado de Avance (Run Status).
3. Presione Aceptar (**OK**) cuando finalice el análisis.

Si el análisis se realiza satisfactoriamente el icono  aparecerá en la sección de Estado del Avance de la Barra de Estado en la parte de abajo del espacio de trabajo de EPANET. Cualquier error o mensaje de advertencia aparecerá en la ventana Informe de Estado. Si configura las propiedades de la red después de realizar satisfactoriamente el análisis, el icono de grifo cambiará a un grifo cerrado indicando que los resultados actuales no son aplicables al sistema modificado.

### 8.3. Solucionando Problemas.

EPANET mandará mensajes de Error y Advertencia cuando se producen problemas en el desarrollo del análisis hidráulico/calidad (ver Apéndice B para una lista completa). Los problemas más comunes se muestran a continuación.

#### 8.3.1. Bombas no pueden entregar Caudal o Altura (Pumps Cannot Deliver Flow or Head)

EPANET mandará un mensaje de error cuando una bomba intente funcionar fuera de su rango o de su curva característica. Si se requiere que la bomba entregue más altura que su altura de caudal nulo, EPANET la apagará. Esto podría conducir a la desconexión de porciones de la red de cualquier fuente de agua.

#### 8.3.2. La Red está Desconectada (Network is Disconnected)

EPANET entiende que una red ha sido desconectada si no existe la forma de aportar caudal a todos los nudos con demanda. Esto puede ocurrir si no existe un camino con líneas activas que permitan la llegada de caudal entre una conexión con demanda y un depósito, tanque o una conexión con demanda negativa. Si el problema está causado por una línea cerrada EPANET calculará inmediatamente una solución hidráulica (probablemente con presiones negativas grandes) e intentará identificar el elemento problemático en el Informe de Estado. Si no existen elementos conectables EPANET no podrá resolver las ecuaciones hidráulicas para caudales y presiones y devolverá un mensaje de Error 110 cuando se haya hecho el análisis. En las simulaciones de periodo extendido es posible para los nudos desconectarse a medida que cambia el estado de los elementos a lo largo del tiempo.

#### 8.3.3. Aparición de Presiones Negativas (Negative Pressures Exist).

EPANET mandará un mensaje de advertencia cuando encuentre presiones negativas en las conexiones con demandas positivas. Esto normalmente indica que existe algún problema en el diseño de la red o en su modo de trabajo. Las presiones negativas pueden aparecer cuando existen porciones de la red que sólo pueden recibir agua a través de elementos que han sido cerrados. En éstos casos también aparecerá otro mensaje de advertencia sobre la desconexión de la red.

#### 8.3.4. Sistema Indeterminado (System Unbalanced).

La condición de Sistema Indeterminado puede producirse cuando EPANET no puede converger a una solución hidráulica en algunos intervalos de tiempo dentro del número máximo de iteraciones. Ésta situación puede ocurrir cuando las válvulas, bombas, o tuberías cambian su estado entre una iteración y la siguiente mientras se está realizando el cálculo hidráulico. Por ejemplo, los límites de presión que controlan el estado de una bomba podrían haberse configurado demasiado cercanos el uno del otro. O la curva característica de una bomba podría ser demasiado plana produciendo el cambio de encendido a apagado.

Para eliminar la condición de indeterminación puede intentar incrementar el número máximo de iteraciones permitido o perder precisión en el cálculo. Ambos parámetros se determinan en las Opciones Hidráulicas del proyecto. Si la condición de indeterminación se mantiene, entonces otra opción hidráulica, etiquetada “Indeterminación” (“If Unbalanced”), ofrece dos caminos a seguir. Uno es finalizar el análisis una vez ha aparecido ésta condición. El otro es continuar con la búsqueda de la solución hidráulica durante otras 10 iteraciones manteniendo congelado el estado actual de todos los elementos. Si se consigue la convergencia entonces se mandará un mensaje de advertencia sobre la posibilidad de que el sistema sea inestable. Si no se consigue la convergencia se mandará un mensaje de “Sistema Indeterminado” (“System Unbalanced”). En cada caso, el análisis continuará en el intervalo de tiempo siguiente.

Si un análisis en un determinado intervalo termina con un sistema indeterminado entonces el usuario reconocerá que los resultados hidráulicos obtenidos para éste periodo son erróneos. Dependiendo de las circunstancias, así como de errores en caudales entrantes o salientes en los tanques, esto también podría afectar a la fidelidad de los resultados en los intervalos de tiempo siguientes.

#### 8.3.5. Ecuaciones Hidráulicas Irresolubles (Hydraulic Equations Unsolvable).

Un mensaje de Error 110 es mandado si en algún punto en el análisis el conjunto de ecuaciones que modelizan el caudal y el balance de energía en la red no pueden resolverse. Esto puede ocurrir cuando alguna porción del sistema demanda agua pero no tienen líneas físicamente conectadas con cualquier fuente de agua. En éste caso EPANET también mandará mensajes de advertencia sobre nudos desconectados. Las ecuaciones también podrían ser irresolubles si se utilizan números irrales en ciertas propiedades del sistema.

## CAPÍTULO 9. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

---

*Éste capítulo describe las diferentes formas de ver los resultados fruto de un análisis así como la información básica del sistema. Esto incluye diferentes vistas del plano, gráficos, tablas e informes especiales.*

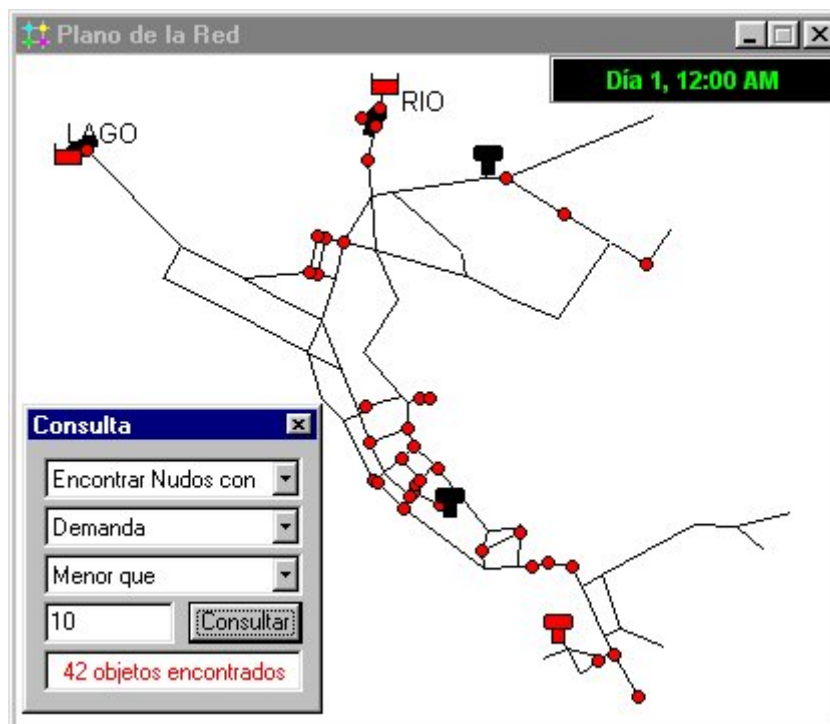
### 9.1. Presentación de Resultados en el Plano.

Existen diferentes formas de ver la base de datos y los resultados de la simulación directamente en el Plano de Red:


- Para las configuraciones actuales en el Buscador de Plano (ver Sección 4.6), los nudos y líneas del plano serán coloreados siguiendo un código de colores representado en la Leyenda de Plano (ver Sección 7.6). El coloreado del plano se actualizará si es seleccionado un nuevo periodo en el Buscador.
- Cuando en las preferencias de programa hemos seleccionado Etiqueta Flotante (Flyover Map Labeling, ver Sección 4.9), moviendo el ratón sobre cualquier nudo o línea aparecerá su etiqueta ID y el valor actual del parámetro de estudio para ese nudo o línea.
- Las etiquetas ID y el valor del parámetro de estudio pueden mostrarse al lado de todos los nudos y/o líneas seleccionando la opción apropiada en la página Notación (Notation) del cuadro de diálogo de las Opciones de Plano (Map Options, ver Sección 7.8).
- Pueden identificarse nudos y líneas con un criterio específico activando un Plano de Consulta (Map Query, ver abajo).
- Puede ver la variación de resultados avanzando o retrocediendo en el tiempo utilizando los botones de Animación en el Buscador de Plano (Map Browser). La animación sólo es posible cuando el parámetro de estudio de un nudo o línea es un valor calculado (por ejemplo, el caudal en una línea puede animarse pero el diámetro no).
- El plano puede ser impreso, copiado al portapapeles de Windows o guardado como un archivo .DXF o metafile.

### 9.1.1. Activando un plano de Consulta.

Un Plano de Consulta (Map Query) identifica nudos y líneas en el plano de la red que se agrupan según un cierto criterio (por ejemplo, nudos con una presión menor de 20 psi, líneas con velocidad sobre 2 ft/s, etc.). Ver la Figura 9.1 como ejemplo. Para activar el Plano de Consulta:



**Figura 9.1.** Resultados en el Plano de Consulta.

1. Seleccione el intervalo de tiempo en el que quiere consultar el plano desde el Buscador de Plano.
2. Seleccione **Ver >> Consulta** (Select View >> Query) o presione  en las herramientas de plano.
3. Complete la siguiente información en el Cuadro de Consulta (Query dialog form) que aparece:
  - Seleccione que quiere consultar Nudos o Líneas
  - Seleccione un parámetro con el que comparar
  - Seleccione **Superior** (Above), **Inferior** (Below), o **Igual** (Equals)
  - Introduzca el valor con el que comparar



4. Presione el botón **Consultar** (Submit). Los objetos que cumplan con el criterio serán marcados en el plano.
5. Si se selecciona un nuevo intervalo de tiempo en el Buscador, los resultados se actualizarán automáticamente.
6. Puede activar otra consulta utilizando el cuadro de diálogo o cerrándolo presionando el botón en la esquina superior derecha.

Después de que el Cuadro de Consulta se haya cerrado el plano volverá a su aspecto original.


## 9.2. Presentación de Resultados en Gráficas.

Los resultados del análisis, así como los parámetros de diseño, pueden consultarse utilizando diferentes tipos de gráficas. Las gráficas se pueden imprimir, copiar al portapapeles de Windows, o guardar como un fichero de datos o un metafile de Windows. Los siguientes tipos de gráficas se pueden utilizar para ver valores seleccionados (ver la Figura 9.2 para un ejemplo de cada):

<i>Tipo de Gráfica</i>	<i>Descripción</i>	<i>Aplicación</i>
Gráfico de Evolución (Time Series Plot)	Valores Vs Tiempo	Nudos o Líneas específicos a lo largo del tiempo
Gráfica de Aprovechamiento (Profile Plot)	Valores Vs Distancia	Una lista de nudos en un momento determinado
Gráfica de Contorno (Contour Plot)	Muestra regiones del plano donde los valores están en intervalos determinados	Todos los nudos en un momento determinado
Gráfica de Frecuencia (Frequency Plot)	Dibuja valores frente a una fracción de objetos que se encuentran en o por debajo del valor	Todos los nudos o líneas en un momento determinado
Gráfica de Caudal (System Flow)	Dibuja la producción y el consumo respecto del tiempo	Demanda de agua de todos los nudos a lo largo del tiempo

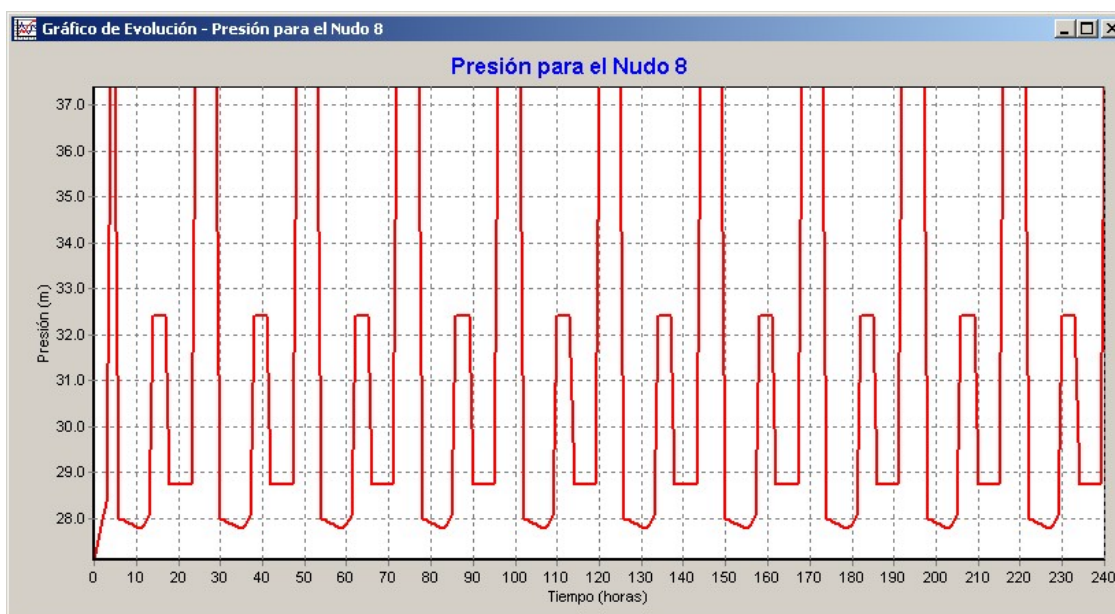
**Nota:** Cuando se selecciona un único nudo o línea para una Serie de Tiempos la gráfica también mostrará cualquier dato de medida que se encuentre en un archivo de Calibración que haya sido asociado con el Proyecto (ver Sección 5.3).

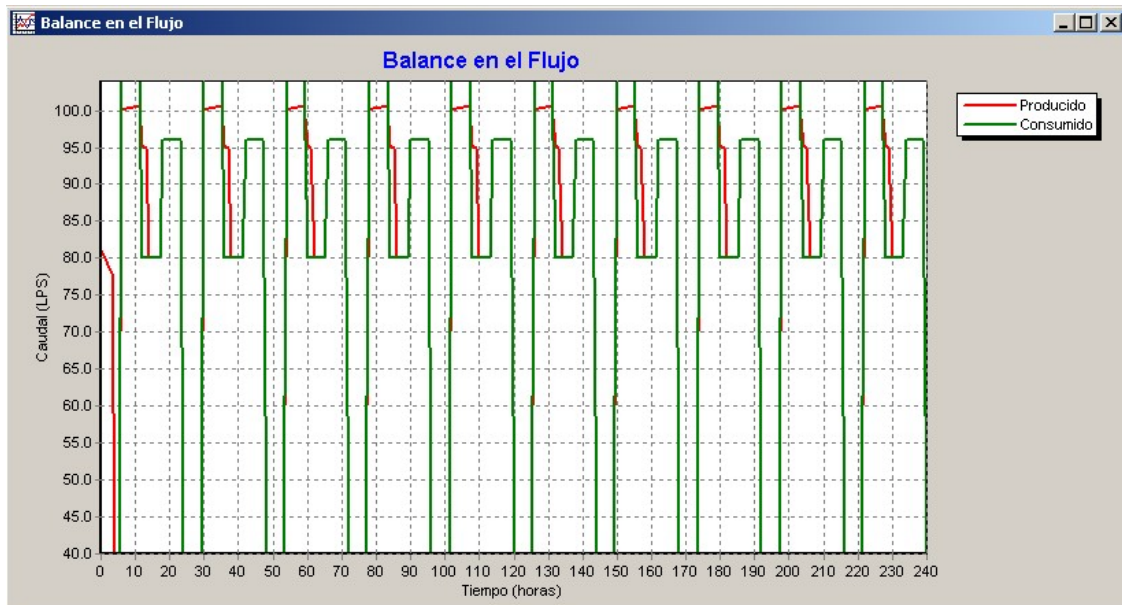
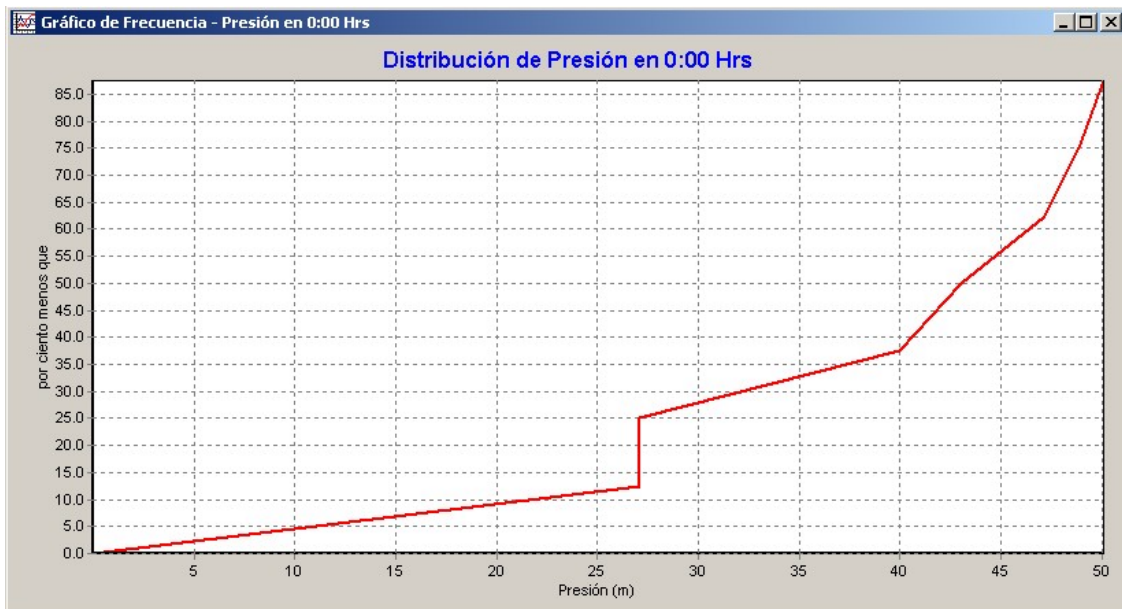
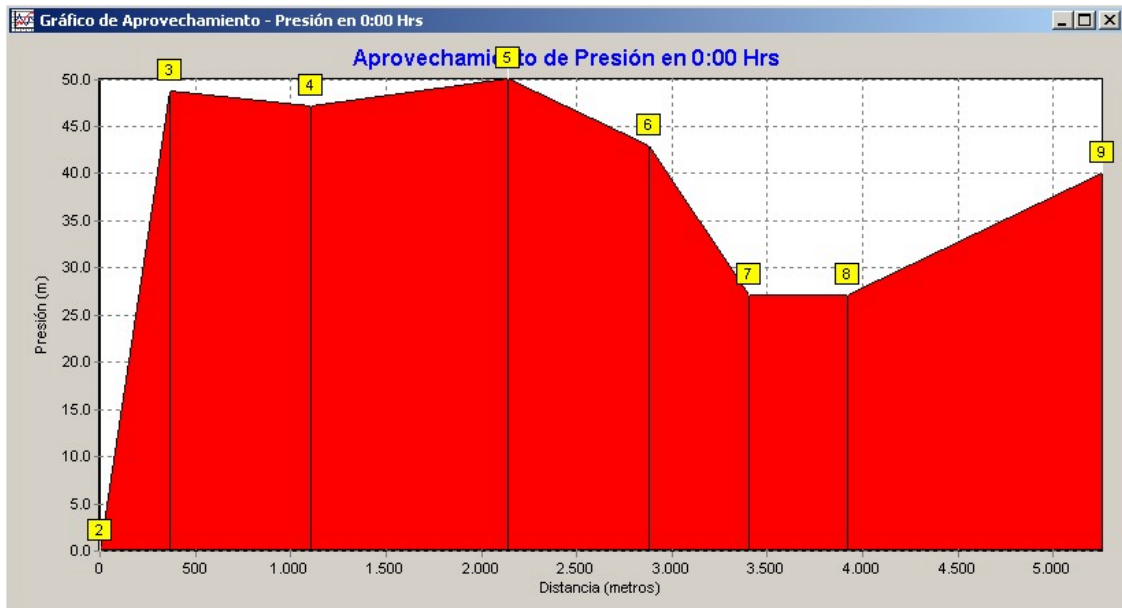
Para crear una gráfica:

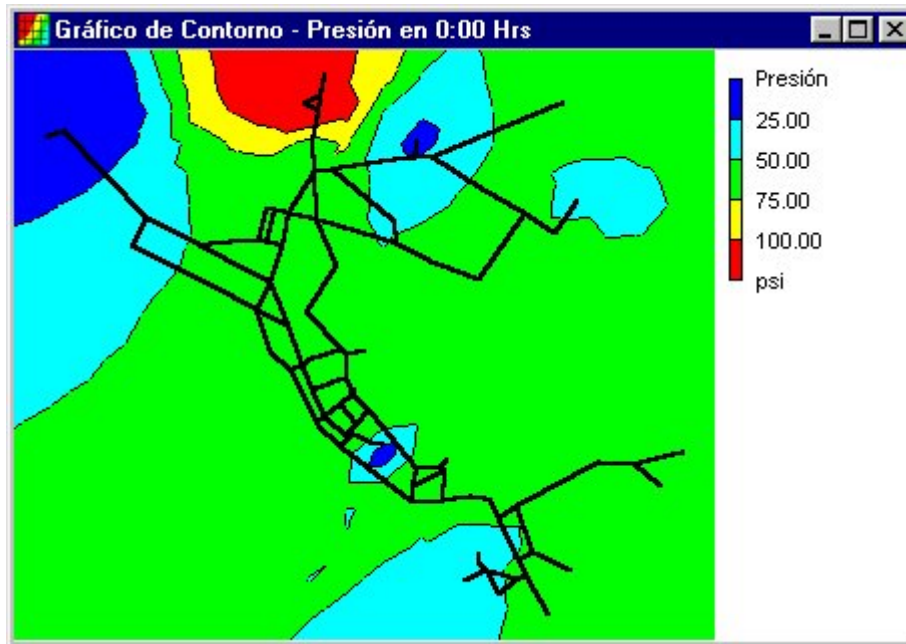
1. Seleccione **Informe >> Gráfica** (Report >> Graph) o presione  en la Barra de Herramientas Estándar.
2. Complete las elecciones en el cuadro de diálogo Selección de Gráfica (Graph Selection) que aparece.
3. Presione **Aceptar** (OK) para crear el gráfico.

El cuadro Selección de Gráfica, tal y como se muestra en la Figura 9.3, se utiliza para seleccionar el tipo de gráfica y el contenido a mostrar. Las posibilidades que tiene en el cuadro de diálogo consisten en las siguientes:

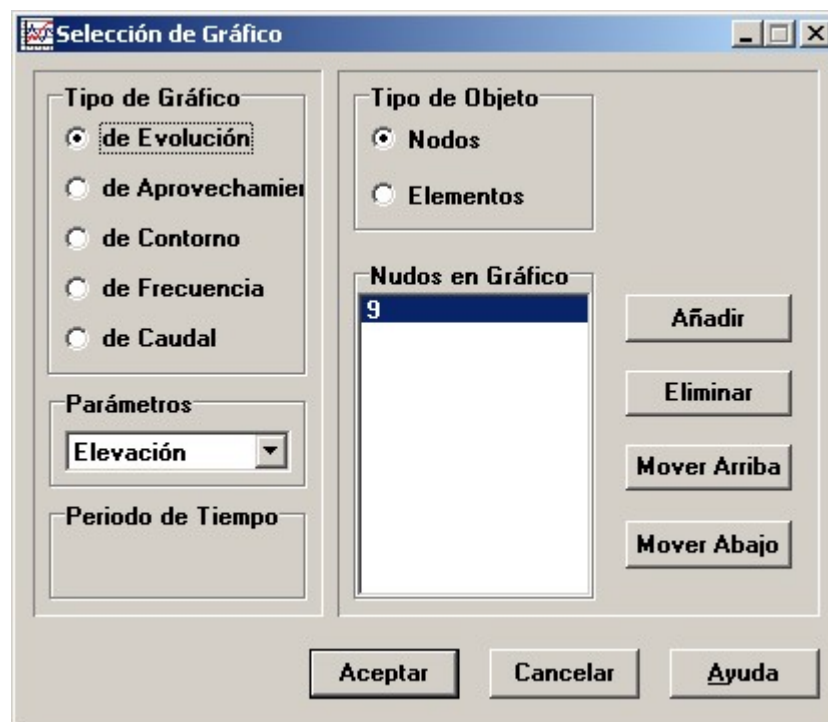
<i>Item</i>	<i>Descripción</i>
Tipo de Gráfica (Graph Type)	Selecciona el tipo de gráfica
Parámetro (Parameter)	Selecciona el parámetro de estudio
Intervalo de Tiempo (Time Period)	Selecciona el intervalo de tiempo de estudio (no se aplica a las Series de Tiempos)
Tipo de Objeto (Object Type)	Selecciona Nudos o Líneas (sólo los Nudos se pueden incluir en las gráficas de Contorno y de Aprovechamiento)
Seleccionar Objetos (Items to Graph)	Selecciona cuales se incluirán en la gráfica (se aplica sólo a las Series de Tiempos y a las de Aprovechamiento)







**Figura 9.2.** Ejemplos de los diferentes Tipos de Gráficas. (Continúa de la Página Anterior)



**Figura 9.3.** Cuadro de Selección de Gráfica.

Las Series de Tiempos y los gráficos de Aprovechamiento requieren que se seleccionen uno o más objetos con los que trabajar. Para seleccionarlos en el cuadro

### Selección de Gráfica:


1. Selecciona el objeto (nudo o línea) en el Plano de Red o en el Buscador de Datos. (El Cuadro de Selección de Gráfica se mantendrá visible durante el proceso).
2. Presione el botón de **Añadir** (Add) en el Cuadro de Selección para añadir el objeto seleccionado a la lista.

En lugar del Paso 2, también puede arrastrar la etiqueta del objeto desde el Buscador de Datos hasta el cuadro de la lista o hasta la barra de título de la ventana gráfica.

Los otros botones del **Cuadro de Selección** sirven para:

<i>Botón</i>	<i>Función</i>
Cargar (Load)	Carga una lista de nudos previamente guardada (sólo Gráfica de Aprovechamiento)
Guardar (Save)	Guarda la lista de nudos actual en un fichero (sólo Gráfica de Aprovechamiento)
Eliminar (Delete)	Borra los objetos de la lista
Mover Arriba (Move Up)	Mueve la lista una posición hacia arriba
Mover Abajo (Move Down)	Mueve la lista una posición hacia abajo

Para personalizar la apariencia de la gráfica:

1. Seleccione la ventana de la gráfica (presione en su barra de título).
2. Seleccione **Informe >> Opciones** (Report >> Options), o presione  en la Barra de Herramientas Estándar, o presione con el botón derecho del ratón sobre la gráfica.
3. Para Series de Tiempos o gráficas de Aprovechamiento, Frecuencia o Caudal utilice el cuadro de Opciones Gráficas (Graph Options) para determinar la apariencia gráfica (Figure 9.4).
4. Para la Gráfica de Contorno utilice el cuadro de Opciones de Contorno (Contour Options) que aparece de la misma forma.

**Nota:** A las Series de Tiempos o gráficas de Aprovechamiento o Frecuencia se les puede aplicar un zoom sin más que mantener la tecla **Ctrl** presionada mientras se dibuja un cuadro que rodee la zona deseada con el botón izquierdo presionado. Dibujando el rectángulo de

izquierda a derecha aumentaremos, dibujándolo de derecha a izquierda disminuirémos. La gráfica también se puede desplazar en cualquier dirección manteniendo apretada la tecla **Ctrl** y moviendo el ratón a lo largo de la gráfica con el botón derecho presionado.

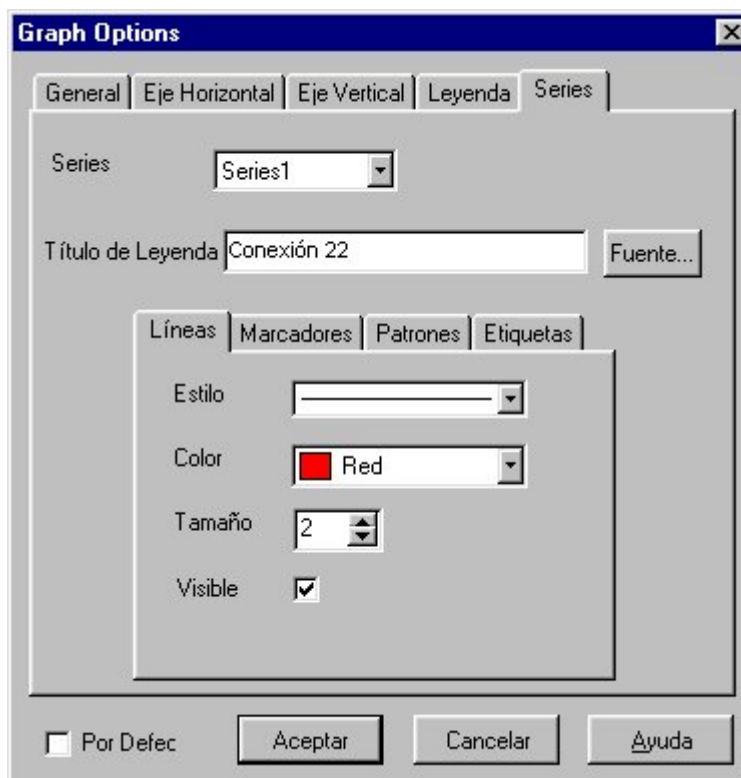
El cuadro Opciones Gráficas (Figure 9.4) se utiliza para determinar la apariencia de una gráfica en X-Y. Para utilizar el cuadro de diálogo:

1. Seleccione cualquiera de las cinco etiquetas superiores de página que cubren las siguientes categorías de opciones:
  - General (General)
  - Eje Horizontal (Horizontal Axis)
  - Eje Vertical (Vertical Axis)
  - Leyenda (Legend)
  - Series (Series)
2. Marque el cuadro **Predeterminado** (Default) si desea utilizar la configuración actual para todas las nuevas gráficas también.
3. Seleccione **Aceptar** (OK) para terminar con los cambios.

Los Campos que aparecen en cada página del cuadro de Opciones Gráficas son los siguientes:

### 9.2.1. Página General (General Page).

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Panel de Color (Panel Color)	Color del panel que rodea al área de la gráfica
Color de Fondo (Background Color)	Color del área de la gráfica
Vista en 3D (View in 3D)	Márquelo si quiere que la gráfica se dibuje en 3D
Profundidad 3D (3D Effect Percent)	Grado de profundidad de la tercera dimensión
Rótulo (Main Title)	Texto del título principal de la gráfica
Fuente (Font)	Cambia la fuente de texto utilizada en el título principal



**Figura 9.4.** Cuadro Opciones Gráficas.

### 9.2.2. Páginas de los Ejes (Horizontal and Vertical Axis Pages).

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Mínimo (Minimum)	Valor mínimo del eje (el valor más pequeño se muestra en paréntesis). Se puede dejar en blanco.
Máximo (Maximum)	Valor máximo del eje (el valor más grande se muestra en paréntesis). Se puede dejar en blanco.
Incremento (Increment)	Valor del incremento de eje. Se puede dejar en blanco.
Auto Escala (Auto Scale)	Si lo marca las configuraciones de Mínimo, Máximo e Incremento son ignoradas.
Parrilla (Gridlines)	Selecciona el tipo de línea divisoria a dibujar.
Título del Eje (Axis Title)	Texto del título del eje
Fuente (Font)	Presione para seleccionar una fuente de texto para el título.

### 9.2.3. Página de Leyenda (Legend Page).

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Posición (Position)	Selecciona el lugar donde poner la leyenda.
Color (Color)	Selecciona el color del fondo del cuadro de leyenda.
Ancho de Símbolo (Symbol Width)	Selecciona el ancho a utilizar (en pixels) para dibujar el cuadro de leyenda.

---

Recuadro (Framed)	Coloca un recuadro alrededor de la leyenda.
Visible (Visible)	Hace la leyenda visible.

---

#### 9.2.4. Página de Series (Series Page).

La página de Series (ver Figura 9.4) del cuadro de Opciones Gráficas controla como se muestra cada serie de datos (o curvas), individualmente, en la gráfica. Para utilizar ésta página:

- Selecciona una serie de datos con la que trabajar desde el cuadro Series.
- Determina el título a utilizar para identificar ésta serie en la leyenda.
- Presiona el botón Fuente (Font) para cambiar la fuente utilizada en la leyenda. (Otras propiedades de la leyenda se pueden variar en la página de Leyenda.)
- Seleccione una propiedad de la serie de datos que le gustaría modificar. Las elecciones son:
  - Líneas (Lines)
  - Marcadores (Markers)
  - Patrones (Patterns)
  - Etiquetas (Labels)

(Para algunos tipos de gráficas no están disponibles todas las propiedades.)

Las propiedades de las series de datos que se pueden modificar son las siguientes:

---

<i>Categoría</i>	<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
<i>Líneas (Lines)</i>	Estilo (Style)	Selecciona el tipo de línea.
	Color (Color)	Selecciona el color de la línea.
	Tamaño (Size)	Selecciona el grosor de la línea (sólo para tipos de línea sólidas).
	Visible (Visible)	Determina si la línea es visible.
<i>Marcadores (Markers)</i>	Estilo (Style)	Selecciona el tipo de marcador.
	Color (Color)	Selecciona el color de marcador.
	Tamaño (Size)	Selecciona el tamaño del marcador

---



---

	Visible (Visible)	Determina si el marcador es visible.
<i>Patrones (Patterns)</i>	Estilo (Style)	Selecciona el tipo de patrón.
	Color (Color)	Selecciona el color del patrón.
	Apilar (Stacking)	No se utiliza con EPANET.
<i>Etiquetas (Labels)</i>	Estilo (Style)	Selecciona qué tipo de información se muestra en la etiqueta.
	Color (Color)	Selecciona el color del fondo de la etiqueta.
	Transparente (Transparent)	Determina si la etiqueta es transparente o no.
	Mostrar Flechas (Show Arrows)	Determina si se muestran las flechas o no.
	Visible (Visible)	Determina si las etiquetas son visibles o no.

---

El cuadro de diálogo de Opciones de Contorno (Figura 9.5) se utiliza para cambiar la apariencia del gráfico de contorno (contour graph). La descripción de cada una de las opciones se realiza a continuación:



**Figure 9.5.** Opciones del Gráfico de Contorno.

<i>Categoría</i>	<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
<i>Leyenda (Legend)</i>	Mostrar Leyenda (Display Legend)	Activa/Desactiva la leyenda
	Modificar Leyenda (Modify Legend)	Cambia el color y el contorno de los intervalos
<i>Gráfica (Network Backdrop)</i>	Primer Plano (Foreground)	Color de la imagen de la red que se ve en la gráfica
	Fondo (Background)	Color de las líneas de contorno del gráfico
	Tamaño de Línea (Link Size)	Grosor de las líneas de la red que aparecen en la gráfica
<i>Estilo (Style)</i>	Contorno Lleno (Filled Contours)	Gráfico con áreas de contorno llenas
	Líneas de Contorno (Line Contours)	Gráfico con líneas de contorno
<i>Líneas de Contorno (Contour Lines)</i>	Grosor (Thickness)	Grosor de las líneas utilizadas en el contorno de los intervalos
	Líneas por Nivel (Lines per Level)	Número de subcontornos en cada nivel de contorno
<i>Predeterminado (Default)</i>		Guarda los cambios efectuados para la siguiente gráfica


### 9.3. Presentación de Resultados en Tablas.

EPANET le permite ver los datos y los resultados del análisis de un proyecto en forma de tabla:

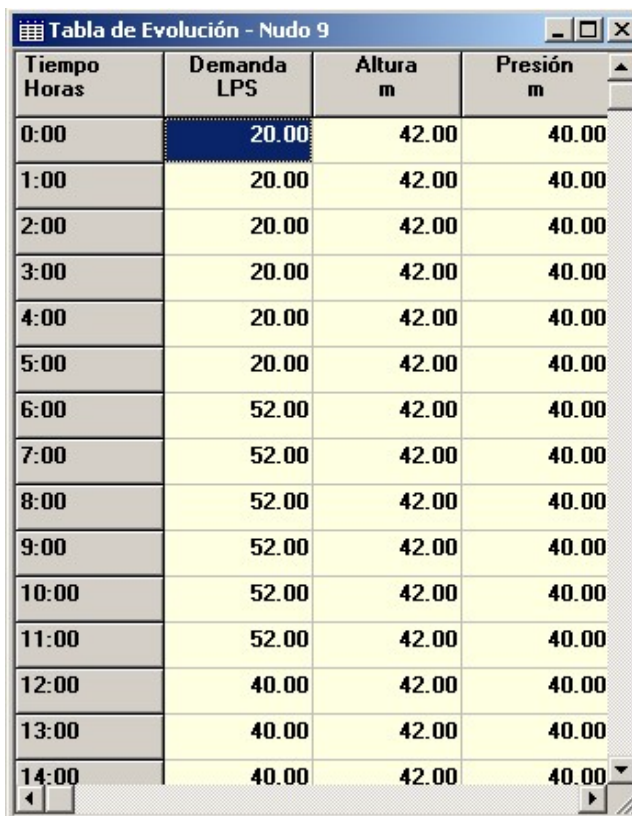
- La Tabla del Sistema (Network table) muestra una lista de las propiedades y resultados de todos los nudos o líneas en un intervalo de tiempo determinado.
- La Tabla de Tiempos (Time Series Table) muestra una lista de las propiedades y resultados de un nudo o línea específico a lo largo del tiempo.

Las tablas se pueden imprimir, copiar en el portapapeles de Windows, o guardar en un fichero. Un ejemplo de tabla se muestra en la Figura 9.6.

Para crear una tabla:

1. Seleccione **Ver >> Tabla** (View >> Table) o presione  en la Barra de Herramientas Estándar.

2. Utilice el cuadro Opciones de Tabla (Table Options) que aparece para seleccionar:
- el tipo de tabla
  - las propiedades a mostrar en cada columna
  - cualquier filtro a aplicar a los datos



Tiempo Horas	Demanda LPS	Altura m	Presión m
0:00	20.00	42.00	40.00
1:00	20.00	42.00	40.00
2:00	20.00	42.00	40.00
3:00	20.00	42.00	40.00
4:00	20.00	42.00	40.00
5:00	20.00	42.00	40.00
6:00	52.00	42.00	40.00
7:00	52.00	42.00	40.00
8:00	52.00	42.00	40.00
9:00	52.00	42.00	40.00
10:00	52.00	42.00	40.00
11:00	52.00	42.00	40.00
12:00	40.00	42.00	40.00
13:00	40.00	42.00	40.00
14:00	40.00	42.00	40.00

**Figura 9.6.** Ejemplo de Tabla de Sistema para los nudos.

El cuadro de diálogo Opciones de Tabla tiene tres páginas tal y como se muestra en la Figura 9.7. Las tres están disponibles cuando una tabla se crea por primera vez. Una vez la tabla ha sido creada, sólo las páginas Columnas (Columns) y Filtros (Filters) aparecerán. Las opciones disponibles en cada página son las siguientes:



**Figura 9.7.** Opciones de Tabla.

### 9.3.1. Página Tipo (Type Page).

La página Tipo del cuadro Opciones de Tabla se utiliza para seleccionar el tipo de tabla a crear. Las posibilidades son:

- Todos los nodos del sistema en un intervalo de tiempo determinado
- Todos las líneas del sistema en un intervalo de tiempo determinado
- Todos los intervalos de tiempo para un nudo específico
- Todos los intervalos de tiempo para una línea específica

Los campos de datos están disponibles para seleccionar el intervalo de tiempo o el nudo/línea el cuál se aplicará a la tabla.

### 9.3.2. Página de Columnas (Columns Page).

En la página Columnas del cuadro Opciones de Tabla (Figure 9.8) se elegirán los parámetros que determinarán las columnas de la tabla.

- Marque cada parámetro que desee incluir en la tabla, o si ya está seleccionado, presione de nuevo si no lo quiere incluir en la tabla. (Las teclas  $\uparrow$  y  $\downarrow$  del teclado pueden utilizarse para

moverse de uno a otro parámetro, y la barra espaciadora se puede utilizar para marcarlos o desmarcarlos).

- Para clasificar la tabla con respecto a los valores de un parámetro determinado, seleccione el parámetro de la lista y desactive la caja **Clasificado a** (Sorted By) al final del cuadro. (El parámetro clasificador no tiene porque ser seleccionado como una de la columnas de la tabla.) Los Gráficos de Evolución no pueden clasificarse.



**Figura 9.8.** Página Columnas del cuadro Opciones de Tabla.

### 9.3.3. Página de Filtros (Filters Page).

La página Filtros del cuadro Opciones de Tabla (Figura 9.9) se utiliza para definir las condiciones de selección de los líneas que aparecerán en la tabla. Para filtrar el contenido de la tabla:


- Utiliza los controles en la parte superior de la página para crear una condición, como por ejemplo, Presión Debajo de 20 (Pressure Below 20).
- Presiona el botón **Añadir** (Add) para incluir la condición en la lista.
- Utiliza el botón **Eliminar** (Delete) para borrar una condición seleccionada de la lista.

Las condiciones múltiples utilizadas para filtrar tablas están conectadas por Ys (AND's). Si una tabla ha sido filtrada, aparecerá un panel al final indicando cuantas líneas satisfacen las condiciones de filtrado.



**Figure 9.9.** Página Filtros del cuadro Opciones de Tabla.

Una vez la tabla ha sido creada puede añadir/eliminar columnas o clasificar o filtrar sus datos:

- Seleccione **Informe** >> **Opciones** (Report >> Options) o presione  en las herramientas estándar o presione el botón derecho del ratón sobre la tabla.
- Utilice las páginas Columnas y Filtros del cuadro Opciones de Tabla para modificar su tabla.

#### 9.4. Presentación de Informes Especiales.

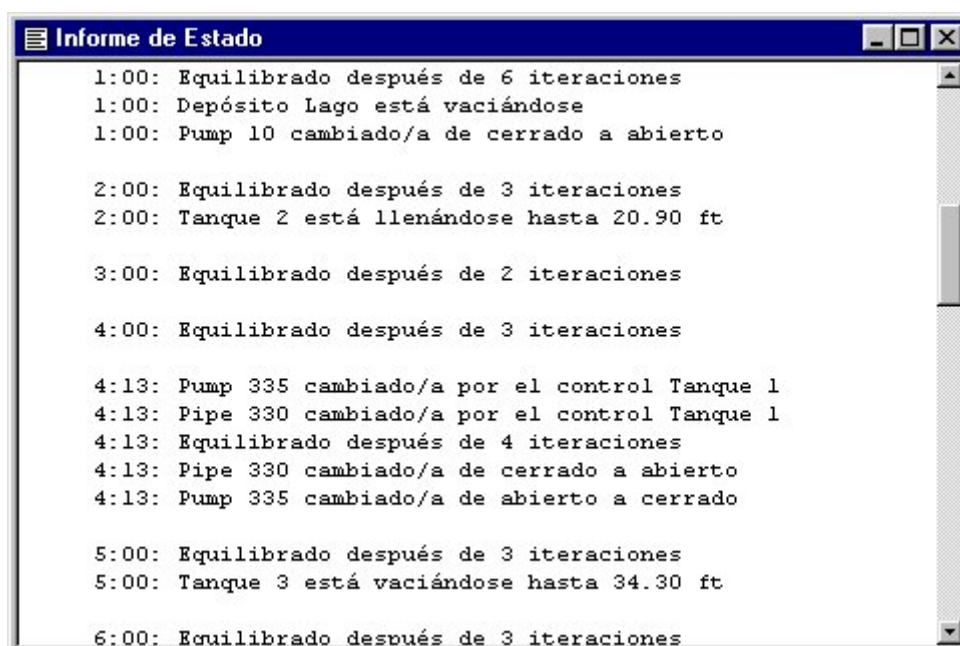
Como adición a las tablas y gráficos, EPANET puede generar algunos otros informes especializados. Esto incluye:

- Informe de Estado (Status Report)
- Informe Energético (Energy Report)
- Informe de Calibración (Calibration Report)
- Informe de Reacción (Reaction Report)
- Informe Completo (Full Report)

Todos éstos informes pueden ser imprimidos, copiados a un fichero, o copiados al portapapeles de Windows (el Informe Completo sólo puede guardarse en un archivo.)

#### 9.4.1. Informe de Estado (Status Report).

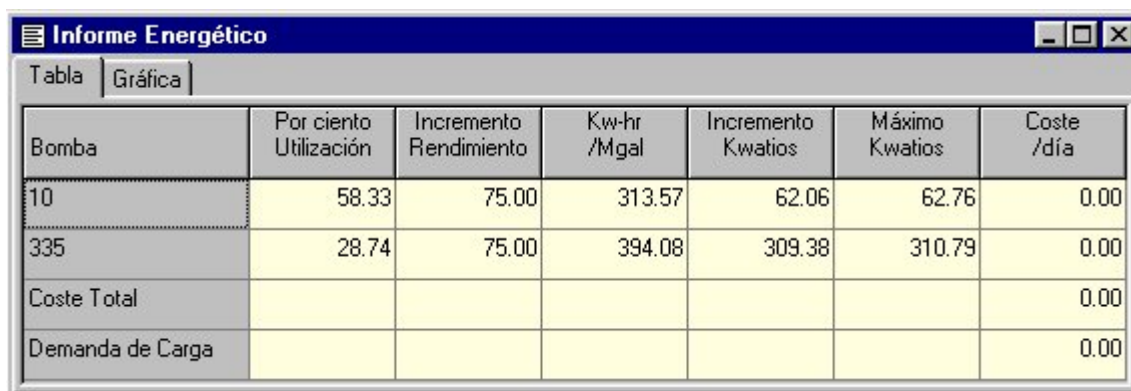
EPANET escribe todos los mensajes de error y de advertencia generados durante el análisis en un Informe de Estado (ver Figura 9.10). Información adicional de cuando los objetos del sistema cambian su estado también es aportada por éste informe si la opción Informe de Estado (Status Report) en las Opciones Hidráulicas del proyecto (Hydraulics Options) se determinó con SI (YES) o COMPLETO (FULL). Para ver el informe de estado del último análisis completado seleccione **Informe >> Estado** (Report >> Status) desde el menú principal.



**Figura 9.10.** Informe de Estado.

#### 9.4.2. Informe Energético (Energy Report).

EPANET puede generar un Informe Energético que muestra estadísticas sobre la energía consumida por cada bomba y el coste de ésta energía utilizada durante el tiempo de simulación (ver Figura 9.11). Para generar un informe energético seleccione **Informe >> Energía** (Report >> Energy) desde el menú principal. El informe consta de dos páginas. Una muestra la energía utilizada por la bomba en formato de tabla. La segunda compara estadísticas energéticas entre bombas utilizando un gráfico de barras.




Bomba	Por ciento Utilización	Incremento Rendimiento	Kw-hr /Mgal	Incremento Kwatios	Máximo Kwatios	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
Demanda de Carga						0.00

**Figura 9.11.** Ejemplo de Informe Energético.

#### 9.4.3. Informe de Calibración (Calibration Report).

El Informe de Calibración nos muestra la calidad del ajuste entre los resultados simulados con EPANET y las medidas tomadas en el sistema real. Para crear un informe de calibración:

1. Primero asegúrese que los Datos de Calibración de las cantidades de estudio han sido asociados al proyecto (ver Sección 5.3).
2. Seleccione **Informe >> Calibración** (Report >> Calibration) desde el menú principal.
3. En el cuadro Opciones de Calibración que aparecerá (ver Figura 9.12):
  - seleccione un parámetro con el que calibrar
  - seleccione la localización de las medidas a utilizar en el informe
4. Presione **Aceptar** (OK) para crear el informe.

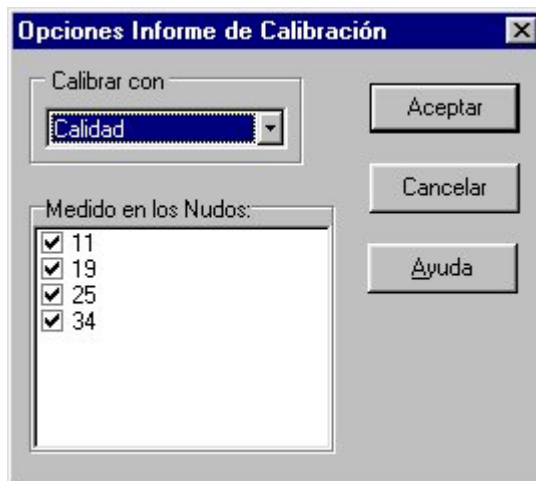
Después de haber creado el informe el cuadro de Opciones de Calibración se puede volver a llamar para cambiar las opciones del informe seleccionando **Informe >> Opciones** (Report >> Options) o presionando  en la Barra de Herramientas Estándar cuando la ventana del espacio de trabajo de EPANET está seleccionada.

Un ejemplo de Informe de Calibración se muestra en la Figura 9.13. éste contiene tres páginas: Estadísticas (Statistics), Correlación (Correlation Plot), y Comparación (Mean Comparisons).



## Página Estadísticas (Statistics Page)

La página Estadísticas del Informe de Calibración muestra una lista de varios errores estadísticos entre los valores simulados y los observados en cada punto de medida y para todo el sistema completo. Si un valor medido en un punto fue tomado en un momento de tiempo situado entre los intervalos de tiempo de simulación entonces se calculará un valor simulado para ese momento por interpolación entre los valores simulados al final de cada intervalo.



**Figura 9.12.** Opciones de Calibración.

Estadísticas de Calibración para Fluoride					
Localización	N° Observ	Media Observ	Media Calc	Error Media	Error RMS
11	19	0.49	0.44	0.065	0.103
19	20	0.75	0.54	0.254	0.377
25	20	0.75	0.68	0.085	0.146
34	19	0.92	0.95	0.103	0.179
Sistema de Red 78		0.73	0.65	0.128	0.229

Correlación entre los Términos: 0.895

**Figura 9.13.** Ejemplo de Informe de Calibración.

La lista de estadísticas para cada punto de medición son:

- Número de observaciones
- Promedio de los valores observados

- Promedio de los valores simulados
- Promedio del error absoluto entre cada valor simulado y observado
- Error geométrico (raíz cuadrada del promedio de los errores al cuadrado entre los valores observados y los simulados).

Estas estadísticas también se realizan para el sistema como un todo (es decir, todos los errores de medida y de simulación juntos). También se muestra una lista con la correlación entre los promedios (coeficiente de correlación entre el valor promedio observado y el valor promedio simulado en cada localización).

#### Página de Correlación (Correlation Plot Page)

Esta página del informe de calibración muestra un gráfico de dispersión de los valores observados y simulados para cada medición hecha en cada localización. A cada localización se le asigna un color diferente en la gráfica. Cuanto más cercanos estén los puntos a la línea del ángulo de 45 °C del dibujo mejor será el ajuste entre los puntos observados y los calculados.

#### Página Comparación de Promedios (Mean Comparisons Page)

Esta página del informe de calibración presenta un gráfico de barras que compara los valores promedio observados con los simulados para un parámetro de calibración en cada una de las localizaciones donde se han tomado las medidas.


#### 9.4.4. Informe de Reacción (Reaction Report)

El Informe de Reacción, disponible cuando modelamos la “vida” de un constituyente reactivo de la calidad del agua, representa gráficamente la velocidad de reacción a lo largo de la red en los siguientes puntos:


- en el seno del flujo
- en la pared de la tubería
- en los tanques de almacenamiento.

Una parte del gráfico muestra el tanto por ciento del total de la velocidad de reacción que está ocurriendo en cada punto. La leyenda del gráfico muestra el incremento de la velocidad en unidades de masa por hora. Una nota al pie del gráfico muestra la velocidad del caudal entrante d reactivo en el sistema.

La información en el Informe de Reacción nos puede dar una idea de qué mecanismo es el responsable del mayor crecimiento o decrecimiento de la sustancia en el sistema. Por ejemplo, si se observa que la mayor pérdida de cloro del sistema se produce en los tanques de almacenamiento y no en las paredes de las tuberías entonces, uno podría deducir que la estrategia correctora de limpieza de las tuberías y reemplazo tendrá poco efecto en la mejora del cloro residual.

Se puede llamar a un cuadro de diálogo de Opciones Gráficas (Graph Options) para modificar la apariencia del gráfico de barras seleccionando **Informe >> Opciones** (Report >> Options) o presionando  en las herramientas estándar, o presionando el botón derecho del ratón en cualquier lugar del gráfico.

#### 9.4.5. Informe Completo (Full Report).

Cuando el icono  aparece en la sección Estado de Inicio (Run Status) de la Barra de Estado (Status Bar), informa de los resultados calculados para todos los nudos, líneas e intervalos de tiempo se puede guardar en un fichero seleccionando **Completo** (Full) desde el menú **Informe** (Report). Éste informe, que se puede ver o imprimir fuera de EPANET utilizando un editor de texto o Word, contiene la siguiente información:

- título del proyecto y notas
- un listado de nudos finales, longitudes y diámetros de cada línea
- un listado de las estadísticas de uso de energía para cada bomba
- un par de tablas para cada intervalo con un listado de los valores calculados para cada nudo (demanda, altura, presión, y calidad) y para cada línea (caudal, velocidad, pérdidas, y estado).

Esta herramienta es útil principalmente para documentar los resultados finales del análisis del sistema en el modelado de pequeñas redes (los informes completos para análisis de grandes redes con muchos intervalos de tiempo ocupan docenas de megabytes de espacio en disco). Las otras herramientas de informes descritas en éste capítulo están disponibles para ver los resultados calculados en diferentes formatos.

(Ésta página se ha dejado en blanco intencionadamente)

## CAPÍTULO 10. IMPRIMIENDO Y COPIANDO

---

*Este capítulo explica cómo imprimir, copiar al portapapeles de Windows o copiar a un archivo los contenidos de la ventana de EPANET que se encuentre activa. Esto puede incluir el plano de red, una gráfica, una tabla, un informe o las propiedades de un objeto seleccionado desde el Buscador.*

### 10.1. Seleccionando una Impresora.

Para seleccionar una impresora de la lista de impresoras de Windows y configurarla:

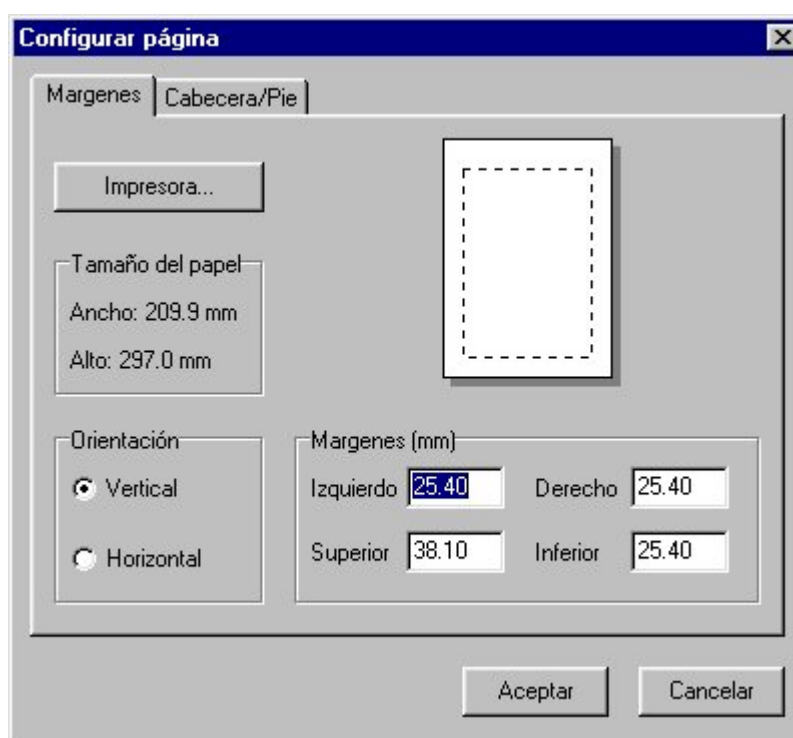
1. Seleccione **Archivo >> Configuración Página** (File >> Page Setup) desde el menú principal.
2. Presione el botón **Impresora** (Printer) en la Página de Configuración (Page Setup) que aparece, ver Figura 10.1.
3. Seleccione una impresora de las elecciones posibles en el desplegable del siguiente cuadro de diálogo que aparece.
4. Presione el botón **Propiedades** (Properties) para seleccionar las propiedades de la impresora (el cual varía según la impresora seleccionada).
5. Presione **Aceptar** (OK) en cada cuadro de diálogo para concluir con la selección.

### 10.2. Configurando el Formato de Página.

Para determinar el formato de impresión:

1. Seleccione **Archivo >> Configuración Página** (File >> Page Setup) desde el menú principal.
2. Utilice los Márgenes de página (Margins page) del cuadro de diálogo de configuración que aparece (Figura 10.1) para:
  - Seleccionar una impresora
  - Seleccionar la orientación del papel (Vertical u Horizontal)
  - Determine los márgenes superior, inferior, derecho e izquierdo

3. Utilice la página Cabecera/Pie (Headers/Footers) del cuadro de diálogo para:
  - Introducir el texto de cabecera que aparecerá en cada página
  - Indicar cuándo la cabecera debe imprimirse o no
  - Introducir el texto de pie de página que aparecerá en cada una
  - Indicar cuando el texto de pie debe aparecer o no
  - Indicar si las páginas se numeran o no
4. Presione **Aceptar** (OK) para terminar.




**Figura 10.1.** Configuración Página.

### 10.3. Vista Preliminar.

Para tener una vista preliminar de la impresión, seleccione **Archivo >> Vista Preliminar** (File >> Print Preview) desde el menú principal. Aparecerá una ventana mostrándole cómo se verán las páginas impresas.


## 10.4. Imprimiendo la Vista Actual.

Para imprimir los contenidos de la ventana activa en éste momento en el espacio de trabajo de EPANET seleccione Archivo >> Imprimir (**File >> Print**) desde el menú principal o presione  de las herramientas estándar. Las siguientes ventanas pueden ser impresas:

- Buscador de Datos (Data Browser), propiedades del objeto actualmente seleccionado
- Plano de Red (Network Map), en el nivel de zoom actual
- Gráficos: Gráficos de Evolución (Time Series), Aprovechamiento (Profile), Contorno (Contour), Frecuencia (Frequency) y Caudal (System Flow)
- Tablas: Tabla del Sistema (Network Table) y Series Temporales (Time Series tables)
- Informes: Estado (Status), Energía (Energy), Calibración (Calibration), y Reacción (Reaction).

## 10.5. Copiando al portapapeles o a un fichero.

EPANET puede copiar el texto y las gráficas de la ventana activa tanto al portapapeles como a un archivo. Las vistas que se pueden copiar de ésta forma incluyen Plano de Red, gráficas, tablas e informes. Para copiar la vista actual al portapapeles o a un archivo:

1. Seleccione **Edición >> Copiar a** (Edit >> Copy To) desde el menú principal o presione .
2. Marque la opción deseada en el cuadro de diálogo que aparece (ver Figura 10.2) y presione su botón **Aceptar** (OK).
3. Si selecciona copiar a un fichero, introduzca el nombre del fichero en el cuadro *Guardar como* que aparece y presione **Aceptar** (OK).

Utilice el cuadro de diálogo *Copiar* como sigue para determinar cómo quiere guardar sus datos y donde:

1. Seleccione el destino del material copiado, Portapapeles o Archivo (Clipboard or File)
2. Seleccione el formato:

- Bitmap (sólo gráficas)
  - Metafile (sólo gráficas)
  - Datos (texto, celdas seleccionadas en una tabla, o datos utilizados en la construcción de una gráfica)
3. Presione **Aceptar** (OK) para terminar o **Cancelar** (Cancel) para abortar el proceso.



**Figura 10.2.** Copiar a.



## **CAPÍTULO 11. IMPORTANDO Y EXPORTANDO INFORMACIÓN.**

---

*Éste capítulo introduce el concepto de Escenarios de Proyecto y describe cómo EPANET puede importar y exportar tanto los datos como el plano de la red y la base de datos de un proyecto al completo.*

### **11.1. Escenarios de Proyectos.**

Un Escenario de Proyecto consiste en un subconjunto de datos que caracterizan las condiciones actuales bajo las cuales el sistema de tuberías es analizado. Un escenario puede consistir en uno o más de los siguientes tipos de datos:

- Demandas (demanda base de la línea más los patrones de tiempo para todas las tuberías) de todos los nudos
- Calidad inicial en todos los nudos
- Diámetros para todas las tuberías
- Coeficiente de rugosidad para todas las tuberías
- Coeficientes de reacción (en el flujo y en la pared) para todas las tuberías
- Controles simples y programados

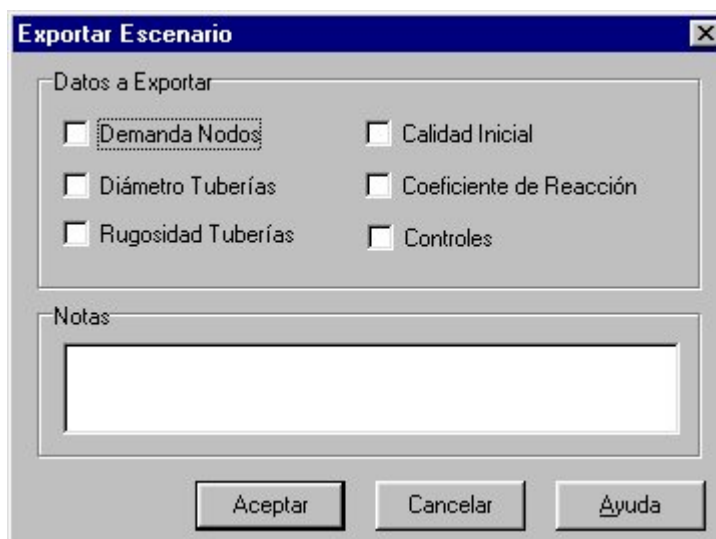
EPANET puede compilar un escenario basado en uno o en todos los tipos de datos mencionados anteriormente, guardar el escenario en un fichero, y traer el escenario de vuelta en un momento futuro.

Los escenarios pueden aportar más eficiencia, un análisis de diseño más sistemático y alternativas de operación. Se pueden utilizar para analizar los impactos de las diferentes condiciones de carga, buscar parámetros estimados óptimos, y evaluar cambios en las políticas de operación. Los archivos de escenario son guardados en código ASCII en archivos de texto y pueden ser creados y modificados fuera de EPANET utilizando un editor de texto o una hoja de cálculo.

### **11.2. Exportando un Escenario.**

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

1. Seleccione **Archivo >> Exportar >> Escenario** (File >> Export >> Scenario) desde el menú principal.
2. En el cuadro de diálogo Exportación (Export Data) que aparece (ver Figura 11.1) selecciona el tipo de información que desea guardar.
3. Introduzca una descripción opcional del escenario que está guardando en el campo Notas (Notes).
4. Presione el botón **Aceptar** (OK) para terminar.
5. En el cuadro de diálogo Guardar (Save dialog box) que aparecerá a continuación seleccione una carpeta y un nombre para el archivo del escenario. Éstos archivos utilizan la extensión predeterminada .SCN.
6. Presione **Aceptar** (OK) para completar la exportación.



**Figura 11.1** Exportar Datos.

El escenario exportado puede ser importado al proyecto en un futuro tal y como se describe a continuación.

### 11.3. Importando un Escenario.

Para importar un escenario desde un fichero:

1. Seleccione **Archivo >> Importar >> Escenario** (File >> Import >> Scenario) desde el menú principal.

2. Utilice el cuadro Abrir Fichero (Open File dialog box) para seleccionar el fichero de escenario a importar. El panel Contenidos (Contents) mostrará las primeras líneas de los archivos seleccionados, como ayuda para localizar el archivo deseado.
3. Presione el botón **Aceptar** (OK) para terminar.

Los datos del fichero de escenario reemplazarán aquellos del proyecto actual que sean del mismo tipo.

#### 11.4. Importando una Parte del Sistema.

EPANET tiene la capacidad de importar una descripción geométrica del sistema de tuberías a un formato de texto. Ésta descripción simplemente contiene las etiquetas ID y las coordenadas de los nudos en el plano y las etiquetas ID y los nudos finales de las líneas. Esto simplifica el proceso de utilizar otros programas, así como paquetes CAD y GIS, para digitalizar los datos geométricos de la red y entonces transferir ésta información a EPANET.

El archivo de texto de la red parcial se asemeja a lo siguiente, donde el texto entre paréntesis (-) describe que tipo de información aparece en esa línea del archivo:

[TITLE]

(descripción opcional del fichero)

[JUNCTIONS]

(Etiqueta ID de cada conexión)

[PIPES]

(Etiqueta ID de cada tubería seguida de la etiqueta ID de sus extremos)

[COORDINATES]

(ID Conexión y sus coordenadas X e Y)

[VERTICES]

(ID Tubería y las coordenadas X e Y de un punto intermedio)

Fíjese que sólo se representan las conexiones y las tuberías. Las otras líneas del sistema, tales como depósitos y bombas, pueden ser importadas como conexiones y tuberías y convertirlos más tarde o simplemente añadirse después. La transferencia de información desde un paquete CAD o GIS la debe realizar el usuario en forma de un archivo de texto que tenga la estructura mostrada con anterioridad.

Además de esta representación parcial, se pueden añadir especificaciones detalladas del sistema guardándolas en un archivo con el formato descrito en el Apéndice C. Es el mismo formato que EPANET utiliza cuando un proyecto es exportado a un archivo de texto (ver Sección 11.7). En éste caso el archivo también contendría información de las propiedades de nudos y líneas, tales como altura geométrica, demandas, diámetros, rugosidades, etc.

### 11.5. Importando un Plano de Red.

Para importar las coordenadas de un plano de red guardado en un archivo de texto:

1. Seleccione **Archivo >> Importar >> Plano** (File >> Import >> Map) desde el menú principal.
2. Seleccione el archivo que contiene la información del plano desde el cuadro Abrir Archivo (Open File) que aparece.
3. Presione **Aceptar (OK)** para reemplazar el plano actual por el descrito en el fichero.

### 11.6. Exportando el Plano de Red.

La vista actual del plano de red puede ser guardada en un fichero ya sea con formato DXF (Drawing Exchange Format), metafile (EMF) de Windows, o el propio formato de EPANET en ASCII. El formato DXF es común en muchísimos programas tipo CAD. Los metafiles se pueden insertar en un procesador Word y cargarlos en programas de dibujo para el redimensionamiento y la edición. Ambos son formatos vectoriales y no perderán resolución al mostrarse a diferentes escalas.

Para exportar el plano de red a tamaño completo a un DXF, metafile, o archivo de texto:

1. Seleccione **Archivo >> Exportar >> Plano** (File >> Export >> Map) desde el menú principal.
2. En el cuadro Exportar Plano (Map Export) que aparece (ver Figura 11.2) seleccione el formato en el que quiere guardar el plano.

3. Si selecciona el formato DXF, tiene que elegir cómo quiere que se representen las conexiones en el archivo. Se pueden dibujar como círculos vacíos, círculos llenos o cuadrados llenos. No todos los lectores de DXF pueden reconocer los comandos utilizados en el archivo DXF para rellenar un círculo.
4. Después de elegir un formato, presione Aceptar (OK) e introduzca el nombre del fichero en el cuadro Salvar como (Save As) que aparece.



Figura 11.2. Cuadro Exportar Plano.

### 11.7. Exportando a un archivo de texto.

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

1. Seleccione **Archivo >> Exportar >> Red** (File >> Export >> Network) desde el menú principal.
2. En el cuadro Guardar (Save) que aparece introduzca un nombre para el fichero a guardar (la extensión predeterminada es .INP).
3. Presione **Aceptar** (OK) para completar la exportación.

Los archivos resultantes serán escritos en formato de texto ASCII, con los diferentes tipos de información y propiedades claramente identificadas. Pueden volverse a leer con EPANET para analizar otro intervalo de tiempo seleccionando Archivo >> Abrir (**File >> Open**) o Archivo >> Importar >> Red (**File >> Import >> Network**). Las descripciones del sistema que

utilizan éste formato de entrada pueden crearse sin la necesidad de EPANET utilizando un editor de texto o una hoja de cálculo. Una especificación completa del formato de archivo .INP se da en el Apéndice C.

Es buena idea guardar una versión de un archivo en su base de datos en éste formato de tal forma que tiene acceso a una versión de los datos que es capaz de leer. De todas formas, para el uso diario de EPANET es mucho más eficiente guardar sus datos utilizando los formatos especiales de proyectos de EPANET (extensión .NET) utilizando los comandos **Archivo >> Guardar** (File >> Save) o **Archivo >> Guardar como** (File >> Save As). Éste formato contiene información adicional del proyecto, como colores y rangos elegidos para las leyendas de plano, la configuración de la apariencia del plano, los nombres de los archivos de calibración asociados, y cualquier opción de impresión que haya sido seleccionada.

## CAPÍTULO 12. PREGUNTAS MÁS FRECUENTES.

---

¿Cómo puedo importar una red de cañerías creada con un programa CAD o GIS?

Ver Sección 11.4.

¿Cómo puedo modelizar un pozo de agua?

Representa el pozo como un depósito cuya altura sea igual a la altura piezométrica del acuífero del pozo. Entonces conecta la bomba desde el depósito al resto de la red. Puedes añadir una tubería en el extremo de la bomba para representar pérdidas menores en el entorno de la bomba.

Si sabes la velocidad a la cual el pozo bombea entonces otra posibilidad es reemplazarlo por una combinación de una bomba y una conexión con demanda negativa igual al caudal que bombea el pozo. También se le puede asignar un patrón de tiempos a la demanda si la velocidad de bombeo varía con el tiempo.

¿Cómo puedo seleccionar una bomba para un determinado caudal?

Configura el estado de la bomba como CERRADO (CLOSED). En el nudo de succión de la misma añade una demanda igual al caudal que requiere la bomba y asigna una demanda negativa de la misma magnitud al nudo de descarga. Después de analizar la red, la diferencia de alturas entre los dos nudos es la que tendrá que entregar la bomba.

¿Cómo puedo seleccionar una bomba para un determinado caudal?

Sustituye la bomba por una Válvula de Rotura de Carga (PBV) orientada en la dirección contraria. Convierte la altura de diseño a su equivalente de presión y utiliza éste dato como tarado de la válvula. Después de realizar el análisis el flujo que atraviesa la válvula se convierte en el caudal de diseño de la bomba.

¿Cómo puedo forzar un programa determinado de caudales fuente entrantes en la red desde mis depósitos?

Sustituye los depósitos por conexiones que tienen una demanda negativa igual al programa de caudales fuente. (Asegúrate de que al menos hay un tanque o un depósito en la red, si no EPANET mandará un mensaje de error.)

¿Cómo puedo analizar las condiciones del caudal de incendios de un nudo de conexión en particular?

Para determinar la máxima presión disponible en un nudo cuando el caudal demandado debe incrementarse para apagar un incendio, añade el caudal antiincendios a la demanda normal del nudo, realiza el análisis, y anota la presión resultante en el nudo.

Para averiguar el máximo caudal disponible a una presión dada, configura el coeficiente de emisor del nudo al de una gran válvula (por ejemplo, 100 veces el máximo caudal esperado) y añade la carga de presión requerida (2.3 veces la presión en psi)<sup>6</sup> a la altura del nudo. Después de realizar el análisis, el caudal antiincendios disponible es igual a la demanda actual del nudo menos cualquier demanda de consumo que se le haya asignado.

¿Cómo puedo simular una válvula de prevención de flujo inverso y reductora de presión?

Utiliza una Válvula de Propósito General (GPV) con una curva de pérdidas que muestre el incremento de pérdidas con la disminución del caudal. Obtendrás información de la construcción de la curva del fabricante. Coloca una válvula de retención (es decir, una longitud pequeña de tubería cuyo estado se ha configurado VR) en serie con la válvula para restringir la dirección del caudal.

¿Cómo modelar un tanque neumático presurizado?

Si la variación de presión del tanque es despreciable, utiliza un tanque cilíndrico muy bajo y muy ancho cuya altura geométrica se corresponda con la presión del tanque. Selecciona las dimensiones del tanque de tal forma que las variaciones de volumen produzcan cambios muy pequeños en la altura del nivel de agua.

Si la altura desarrollada en el tanque varía entre  $H_1$  y  $H_2$ , con los correspondientes volúmenes  $V_1$  y  $V_2$ , entonces utiliza un tanque cilíndrico cuya sección sea igual a  $(V_2 - V_1)/(H_2 - H_1)$ .

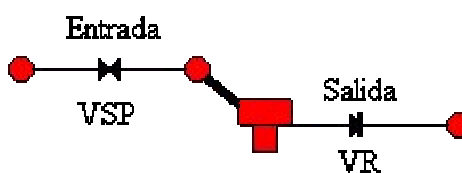
¿Cómo puedo modelizar la entrada a un tanque que descarga por debajo del nivel de agua?

Utilice la configuración que se muestra a continuación:

---

<sup>6</sup> NdT: Esta información hace referencia a la normativa y prácticas empleadas en EEUU. En caso de emplear este tipo de modelación en otros países deberá asignar los valores correspondientes.





La entrada del tanque consiste en una Válvula Sostenedora de Presión (PSV) configurada con una tubería corta de gran diámetro. La presión de tarado de la VSP será 0, y la altura geométrica de su nudo final será igual a la altura geométrica de la tubería que se conecta al tanque. Utiliza una válvula de retención en la salida del tanque para evitar el cambio de dirección del caudal.

¿Cómo puedo determinar las condiciones iniciales para un análisis de calidad del agua?

Si las condiciones simuladas existentes forman parte de un estudio de calibración, asigne valores medidos a los nudos en los que se han tomado las mediciones e interpola (aproximadamente) para asignar los valores a otras localizaciones. Es altamente recomendable que los puntos donde hay tanques de almacenamiento y depósitos sean puntos donde se han realizado mediciones.

Para simular condiciones futuras empiece con valores iniciales arbitrarios (excepto en los tanques) y realice el análisis para un número de patrones de demanda cíclicos de tal forma que los valores de calidad del agua comiencen a repetirse siguiendo una variación periódica. El número de éstos ciclos se puede reducir si se han estimado correctamente los valores iniciales de calidad de agua en los tanques. Por ejemplo, si simulamos la edad del agua el valor inicial podría ser el valor medio del tiempo de residencia del tanque, que es aproximadamente igual a la fracción de su volumen que se intercambia cada día.

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

El coeficiente de reacción en el flujo se puede estimar realizando un test de botella en el laboratorio (ver Reacciones en el Seno del Agua en la Sección 3.4). Las velocidades de reacción en la pared no se pueden medir directamente. Se deben cotejar con los datos de calibración obtenidos (por ejemplo, utilizando el método de prueba y error para determinar los valores del coeficiente que producen que los resultados de la simulación sean lo más parecido a los resultados observados). En las tuberías de plástico y las relativamente nuevas tuberías de acero revestido no se espera ninguna demanda significativa de desinfectantes tales como el cloro o la cloramina.

## ¿Cómo puedo simular una estación impulsora de cloro?

Coloca la estación impulsora en un nudo conexión con demanda cero o positiva o en un tanque. Selecciona el nudo en el Editor de Propiedades (Property Editor) y presione el botón punteado en el campo Fuente de Calidad (Source Quality) para activar el Editor Fuente de Calidad. En el editor, configura Tipo de Fuente (Source Type) como PUNTO IMPULSIÓN (SETPOINT BOOSTER) y configura la Fuente de Calidad como la concentración de cloro que el agua que deja el nudo debe arrastrar. Alternativamente, si la estación impulsora utiliza un sistema de adición de cloro discontinuo entonces configura Tipo de Fuente como IMPULSIÓN DISCONTINUA (FLOW PACED BOOSTER) y la Fuente de Calidad como la concentración que será añadida a la concentración que sale del nudo. Especifica un ID de patrón de tiempos en el campo Patrón de Tiempos (Time Pattern) si deseas variar el nivel de impulsión con el tiempo.

## ¿Cómo puedo modelizar el crecimiento de THM en el sistema?

El crecimiento de THM se puede modelizar utilizando ecuaciones cinéticas de saturación de primer orden. Selecciona Opciones – Reacciones (Options – Reactions) desde el Buscador de Datos (Data Browser). Asigna el valor de 1 al orden de reacción en el flujo (bulk reaction) y la concentración límite al máximo nivel de THM que puede producir el agua, dando un largo periodo de tiempo. Asigna al coeficiente de reacción un valor positivo reflejo de la velocidad de producción de THM (por ejemplo, 0.7 dividido por el doble de tiempo de THM). Estimaciones del coeficiente de reacción y la concentración límite se pueden obtener con tests de laboratorio. El coeficiente de reacción crecerá con el incremento de la temperatura del agua. Las concentraciones iniciales de todos los nudos de la red serían iguales a la concentración entrante de THM a la red desde el nudo fuente.

## ¿Puedo utilizar un editor de texto para editar propiedades del sistema mientras EPANET está funcionando?

Guarda el sistema en un fichero ASCII de texto (selecciona **Archivo >> Exportar >> Red**). Con EPANET cargado, arranca tu editor de texto. Carga el fichero de la red con el editor. Cuando hayas terminado con la edición, guárdalo en el disco. Abre el fichero con EPANET seleccionando **Archivo >> Abrir**). Puedes mantener ambos programas activados y trabajar con uno u otro, a medida que se requieran más cambios. Tan sólo recuerda guardar el fichero después de haberlo modificado en el editor, y volverlo a abrir después de activar EPANET. Si utilizas un procesador word (como WordPad) o una hoja de cálculo como editor, recuerda guardar el fichero como un archivo de texto ASCII.

¿Puedo abrir diferentes sesiones de EPANET a la vez?

Si. De ésta forma podríamos comparar diferentes escenarios de operación o diferentes diseños y cotejarlos.

(Ésta página se ha dejado en blanco intencionadamente)

## APÉNDICE A - UNIDADES DE MEDIDA

<i>Parámetro</i>	<i>SISTEMA AMERICANO</i>	<i>SISTEMA INTERNACIONAL</i>
Concentración	mg/L o $\mu\text{g/L}$	Mg/L o $\mu\text{g/L}$
Demanda	(ver unidades de Caudal)	(ver unidades de Caudal)
Diámetro (Tuberías)	Pulgadas	Milímetros
Diámetro (Tanques)	Pies	Metros
Rendimiento	%	%
Altura geométrica	Pies	Metros
Coeficiente Emisor	Unidades de caudal / $(\text{psi})^{1/2}$	Unidades de caudal / $(\text{metros})^{1/2}$
Energía	kilovatio – hora	Kilovatio – hora
Caudal	CFS (pies cúbicos / s) GPM (galones / min) MGD (millón galones / día) IMGD (Imperial MGD) AFD (acre-pie / día)	LPS (litros / s) LPM (litros / min) MLD (megalitros / día) CMH (metros cúbicos / hora) CMD (metros cúbicos / día)
Factor de Fricción	Adimensional	Adimensional
Altura hidráulica	Pies	Metros
Longitud	Pies	Metros
Coef. Pérdidas Menores	Adimensional	Adimensional
Potencia	Caballos de Vapor	Kilovatios
Presión	Libras por pulgada cuadrada	Metros
Coef. Reacción (Seno)	1/día (primer orden)	1/día (primer orden)
Coef. Reacción (Pared)	Masa / L / día (orden 0) Pies / día (primer orden)	Masa / L / día (orden 0) Metros / día (primer orden)
Coeficiente de Rugosidad	$10^{-3}$ pies (Darcy-Weisbach), adimensional demás casos	Milímetros (Darcy-Weisbach), adimensional demás casos
Fuente Inyección Másica	Masa / minuto	Masa / minuto
Velocidad	Pies / s	Metros / s
Volumen	Pies Cúbicos	Metros Cúbicos
Edad del Agua	Horas	Horas

**Note:** El sistema americano se aplica cuando se eligen como unidades de caudal CFS, GPM, AFD, o MGD. El Sistema Internacional se aplica cuando el caudal se expresa en litros o metros cúbicos.

(Ésta página se ha dejado en blanco intencionadamente)

## APÉNDICE B – MENSAJES DE ERROR.

---

<i>ID</i>	<i>Explicación</i>
101	El análisis se interrumpió debido a insuficiente memoria.
110	El análisis se interrumpió porque las ecuaciones hidráulicas del sistema no se pueden resolver. Compruebe que ninguna zona de la red carezca de conexión con algún depósito o tanque; o existan valores irregulares en los datos de entrada del sistema.
200	Uno o más errores han sido detectados en los datos de entrada. La naturaleza del error se describirá con los mensajes error serie 200 que continúan.
201	Hay un error de sintaxis en una línea del archivo de entrada creado desde sus datos del sistema. Es muy común que ocurra en los archivos de texto .INP creados por el usuario sin la ayuda de EPANET.
202	Un valor numérico ilegal ha sido asignado 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 un patrón de tiempos no definido.
206	Un objeto hace referencia a una curva no definido.
207	Se ha intentado “controlar” una válvula de retención. Una vez defines el estado de una tubería como Válvula de Retención con el Editor de Propiedades, su estado no se puede cambiar por medio de Controles simples o programados.
208	Se ha hecho una referencia a un nudo no definido. Esto podría ocurrir en una línea de un Control, por ejemplo.
209	Un valor ilegal ha sido asignado a una propiedad de un nudo.
210	Se ha hecho una referencia a una línea no definida. Esto podría ocurrir en una línea de un Control, por ejemplo.
211	Un valor ilegal ha sido asignado a una propiedad de una línea.
212	Un análisis de seguimiento de fuente hace referencia a un nudo de seguimiento no definido.
213	Una opción de análisis tiene un valor ilegal (un ejemplo podría ser un valor de tiempo negativo).
214	Hay demasiados caracteres en una línea del archivo de entrada. Las líneas de los archivos .INP quedan limitadas a 255 caracteres.
215	Dos o más nudos o líneas comparten la misma etiqueta ID.
216	Los datos energéticos aportados se asignaron a una bomba no definida.
217	Datos energéticos inválidos se asignaron a una bomba.
219	Una válvula está incorrectamente conectada a un tanque o depósito. Las VRP, VSP o VCQ no pueden conectarse directamente a un tanque o depósito. Utilice un trozo de tubería para separarlos.
220	Una válvula esta incorrectamente conectada a otra. Las VRPs no pueden compartir el mismo nudo aguas abajo o conectarse en serie, las VSPs no

- pueden compartir el mismo nudo aguas arriba o conectarse en serie, y una VSP no se puede conectar directamente con el nudo aguas abajo de una VRP.
- 221 Un Control programado contiene una cláusula mal colocada.
- 223 No hay suficientes nudos en la red para analizar. Un sistema válido debe contener al menos un tanque/depósito u un nudo conexión.
- 224 No hay al menos un tanque o depósito en el sistema.
- 225 Niveles máximo/mínimo incorrectos se han especificado en un tanque (por ejemplo, el nivel mínimo es más alto que el máximo).
- 226 No se le ha asignado potencia o curva característica a una bomba. Ha una curva se le debe asignar, ya sea mediante un ID de curva en las Propiedades de Curva o un ratio de potencia en las Propiedades de Potencia. Si se le han asignado ambas propiedades se utilizará la curva característica.
- 227 Una curva tiene una curva característica incorrecta. Una curva característica correcta tiene una altura descendente con el incremento del caudal.
- 230 Una curva no tiene valores de incremento en X.
- 233 Un nudo no está conectado a ninguna línea.
- 302 El sistema no puede abrir el fichero temporal de entrada. Asegúrese de que la carpeta temporal de EPANET tiene los privilegios requeridos (ver Sección 4.9).
- 303 El sistema no puede abrir el fichero de informa de estado. Ver Error 302.
- 304 El sistema no puede abrir el fichero de salida binario. Ver Error 302.
- 308 No se pueden guardar los resultados en un fichero. Esto puede ocurrir si el disco está lleno.
- 309 No se pueden escribir resultados en el fichero informe. Esto puede ocurrir si el disco está lleno.



## APÉNDICE C – LÍNEA DE COMANDO DE EPANET.

### C.1. Instrucciones Generales.

EPANET También puede funcionar como una consola desde una línea de comando desde la ventana del DOS. En éste caso los datos de entrada del sistema se introducen en un fichero de texto y los resultados se escriben en otro fichero de texto. La línea de comando para arrancar EPANET de éste modo es:

```
epanet2d  infile  rptfile  outfile
```

Aquí **infile** es el nombre del fichero de entrada, **rptfile** es el nombre del fichero informa de salida, y **outfile** es el nombre de un fichero de salida opcional que almacena los resultados en un formato especial en binario. Si éste último fichero no se necesita entonces sólo tendremos que especificar los nombres de los ficheros de entrada y salida. Tal y como se escribe, con esta línea de comando se supone que usted está trabajando en el directorio en el que se instaló EPANET o éste directorio se ha añadido al AUTOEXEC.BAT con un PATH. Si no deberá escribir la localización exacta del ejecutable **epanet2d.exe** para que la línea de comando sea correcta. Los mensajes de error para esta modalidad son los mismos que para el EPANET bajo Windows y son los que aparecen en el Apéndice B.

### C.2. Formato del Fichero de Entrada.

El archivo de entrada para éste modo de funcionamiento de EPANET (comand line) tiene el mismo formato que el fichero de texto que EPANET bajo Windows genera seleccionando **Archivo >> Exportar >> Red** (File >> Export >> Network). Se organiza en secciones, donde cada sección empieza con una palabra código entre paréntesis. A continuación se muestran las siguientes palabras código.

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

El orden de las secciones no es importante. De cualquier modo, siempre que un nudo o línea sea nombrado en una sección ya debe de haber sido definido dentro de las secciones [JUNCTIONS], [RESERVOIRS], [TANKS], [PIPES], [PUMPS], o [VALVES]. Por lo que se recomienda que éstas secciones se coloquen en primer lugar, justo después de la sección [TITLE]. Las secciones de plano de red y etiquetas no se utilizan en el modo línea de comando de EPANET por lo que pueden ser eliminadas del archivo.

Cada sección puede contener una o más líneas de datos. Líneas en blanco pueden aparecer en cualquier lugar del archivo y la semicomma (;) se puede utilizar para indicar que lo que continúa de la línea es un comentario, no son datos. Las líneas tienen un máximo de 255 caracteres. Las etiquetas ID utilizadas para identificar nudos, líneas, curvas y patrones pueden ser como mucho una combinación de 15 caracteres y números.

La figura C.1 muestra el archivo de entrada que representa la red del tutorial estudiado en el Capítulo 2.

```
[TITLE]
EPANET TUTORIAL

[JUNCTIONS]
;ID Elev Demand
;-----
2 0 0
3 710 650
4 700 150
5 695 200
6 700 150

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

[TANKS]
;ID Elev InitLvl MinLvl MaxLvl Diam Volume
;-----
7 850 5 0 15 70 0

[PIPES]
;ID Node1 Node2 Length Diam Roughness
;-----
1 2 3 3000 12 100
2 3 6 5000 12 100
3 3 4 5000 8 100
4 4 5 5000 8 100
5 5 6 5000 8 100
6 6 7 7000 10 100

[PUMPS]
;ID Node1 Node2 Parameters
;-----
7 1 2 HEAD 1
```

**Figura C.1.** Ejemplo de archivo de entrada de EPANET (continúa en la siguiente página).

```

[PATTERNS]
;ID Multipliers
;-----
1      0.5  1.3  1  1.2
[CURVES]
;ID X-Value Y-Value
;-----
1      1000    200

[QUALITY]
;Node InitQual
;-----
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      55
Energy    Yes
Nodes     All
Links     All

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

[END]

```

**Figura C.1.** Ejemplo de archivo de entrada de EPANET (continúa de la página anterior).

En las páginas que continúan se describen, en orden alfabético, los contenidos y formatos de cada sección.

## [BACKDROP]

### Propósito:

Identifica el plano del sistema y las dimensiones para el plano de red.

### Formatos:

<b>DIMENSIONS</b>	LLx LLy URx Ury
<b>UNITS</b>	<b>FEET/METERS/DEGREES/NONE</b>
<b>FILE</b>	nombre de archivo
<b>OFFSET</b>	X Y

### Definiciones:

**DIMENSIONS** (DIMENSIONES), aporta las coordenadas X e Y de las esquinas superior derecha e inferior izquierda del rectángulo que bordea el plano. Las dimensiones predeterminadas son las coordenadas nodales que se encuentran en la sección [COORDINATES].

**UNITS** (UNIDADES), especifica las unidades en las que son dadas las dimensiones del plano. Las unidades predeterminadas son NINGUNA (NONE).

**FILE** (ARCHIVO) es el nombre del fichero que contiene el plano del sistema.

**OFFSET** (MÁRGENES), enumera las distancias en X e Y que separarán la esquina superior izquierda del plano con la esquina superior izquierda del cuadro que bordea el plano. El valor predeterminado es 0.

### Comentarios:

- a. La sección [BACKDROP] es opcional y no se utiliza cuando EPANET funciona como una aplicación en consola.
- b. Tan sólo los archivos metafiles de Windows y los mapas de bits se pueden utilizar como planos del sistema.

## [CONTROLS]

### Propósito:

Definen los controles simples que modifican los líneas basados en una única condición.

### Formato:

Una línea por control que puede ser de la forma:

**LINK** ID-línea Estado **IF NODE** ID-nudo **ABOVE/BELOW** valor

**LINK** ID-línea Estado **AT TIME** tiempo

**LINK** ID-línea Estado **AT CLOCKTIME** hora **AM/PM**

donde:

ID-línea	=	Etiqueta ID del línea
Estado	=	ABIERTO o CERRADO, la velocidad de una bomba, o el tarado de una válvula
ID-nudo	=	Etiqueta ID del nudo
Valor	=	La presión de una conexión o el nivel de agua de un tanque
Tiempo	=	Tiempo desde el inicio de la simulación en formato decimal o en formato
Hora	=	Reloj de 24 horas (horas:minutos)

### Comentarios:

- Los controles simples se utilizan para cambiar el estado de líneas o configurar el nivel de agua de un tanque, la presión en una conexión, el tiempo de simulación o la hora del día.
- Ver las notas para la sección [STATUS] para consultar los convenios establecidos en la especificación del estado de líneas y el tarado, especialmente para el control de válvulas.

### Ejemplos:

```
[CONTROLS]
;Cerrar Línea 12 si el nivel del Tanque 23 supera 20 ft.
LINK 12 CLOSED IF NODE 23 ABOVE 20

;Abrir 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 de la bomba PUMP02 pasa a ser 1.5 a las 16
;horas de la simulación
LINK PUMP02 1.5 AT TIME 16

;Línea 12 se cierra a las 10 am y se abre a las 8 pm
;de la simulación
LINK 12 CLOSED AT CLOCKTIME 10 AM
LINK 12 OPEN AT CLOCKTIME 8 PM
```

## [COORDINATES]

### Propósito:

Asignar coordenadas del plano a los nudos del sistema.

### Formato:

Una línea para cada nudo con:

- Etiqueta ID del nudo
- Coordenada X
- Coordenada Y

### Comentarios:

- a. Incluye una línea por cada nudo mostrado en el plano.
- b. Las coordenadas representan la distancia desde el nudo a un origen arbitrario en la parte inferior izquierda del plano. Cualquier unidad de medida conveniente para ésta distancia se puede utilizar.
- c. No existe ningún requerimiento de que todos los nudos sean incluidos en el plano, y sus localizaciones no han de estar en la escala real.
- d. La sección [COORDINATES] es opcional y no se utiliza cuando EPANET funciona como una aplicación en consola.

### Ejemplo:

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

## [CURVES]

### Propósito:

Define los datos de las curvas y sus puntos X,Y.

### Formato:

Una línea para cada punto X,Y de cada curva contiene:

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

### Comentarios:

- a. Las curvas se pueden utilizar para representar las siguientes relaciones:
  - Altura Vs Cudal para bombas
  - Rendimiento Vs Caudal para bombas
  - Volúmen Vs Profundidad para tanques
  - Pérdidas Vs Caudal para válvulas de propósito general
- b. Los puntos de la curva deben introducirse en orden creciente del valor X (del menor al mayor).
- c. S el archivo de entrada va a ser utilizado por el EPANET bajo Windows, entonces añadiendo un comentario que contenga el tipo de curva y la descripción, separado por una coma, directamente sobre ola primera entrada de una curva asegurará que éstosa ítems aparezcan correctamente en el Editor de Curvas de EPANET. Los tipos de curvas incluyen BOMBA (PUMP), RENDIMIENTO (EFFICIENCY), VOLÚMEN (VOLUME), y PÉRDIDAS (HEADLOSS). Ver el ejemplo de abajo.

### Ejemplo:

```
[CURVES]
;ID Flow Head
;PUMP: Curve for Pump 1
C1 0 200
C1 1000 100
C1 3000 0

;ID Flow Effic.
;EFFICIENCY:
E1 200 50
E1 1000 85
E1 2000 75
E1 3000 65
```

## [DEMANDS]

### Propósito:

Suplemento de la sección [JUNCTIONS] para definir múltiples demandas en nudos conexión.

### Formato:

Una línea para cada tipo de demanda de una conexión contiene:

- Etiqueta ID de la conexión
- Demanda base (unidades de caudal)
- Etiqueta ID del patrón de demanda (opcional)
- Nombre del tipo de demanda precedido por una semicomma (opcional)

### Comentarios:

- a. Sólo se utiliza para conexiones cuyas demandas necesitan ser cambiadas o complementada desde entradas en la sección [JUNCTIONS].
  - b. La información en ésta sección reemplaza cualquier demanda introducida en la sección [JUNCTIONS] para la misma conexión.
  - c. No existe límite para el número de tipos de demandas que se pueden asignar a una conexión.
- a. Si no se asigna un patrón de demanda la demanda de la conexión seguirá el Patrón de Demanda Predeterminado especificado en la sección [OPTIONS] o Patrón 1 (Pattern 1) si no es predeterminado ninguno. Si el patrón predeterminado (o Patrón 1) no existe, entonces la demanda permanecerá constante.

### Ejemplo:

```
[DEMANDS]
;ID      Demand      Pattern      Category
;-----
J1       100          101         ;Domestic
J1       25           102         ;School
J256    50             101         ;Domestic
```



## [EMITTERS]

### **Propósito:**

Define las conexiones que simulan emisores (aspersores y orificios).

### **Formato:**

Una línea para cada emisor contiene:

- Etiqueta ID de la conexión
- Coeficiente de pérdidas, unidades de caudal a la presión de 1 psi (1 metro)

### **Comentarios:**

- a. Los emisores se utilizan para simular el caudal a través de aspersores o vías de agua.
- b. El caudal que sale del emisor es igual al producto del coeficiente de pérdidas y la presión de la conexión elevada a una potencia.
- c. La potencia puede ser especificada utilizando la opción EXPONENTE EMISOR (EMITTER EXPONENT option) en la sección [OPTIONS]. El valor predeterminado es 0.5, el cual normalmente se aplica a aspersores y toberas.
- d. La demanda real del informe con los resultados del programa incluye tanto la demanda normal de la conexión como las pérdidas del emisor.
- e. La sección [EMITTERS] es opcional.

## [ENERGY]

### Propósito:

Define los parámetros utilizados para calcular la energía bombeada y el coste.

### Formatos:

```
GLOBAL          PRICE/PATTERN/EFFIC  valor
PUMP  ID-bomba  PRICE/PATTERN/EFFIC  valor
DEMAND CHARGE  valor
```

### Comentarios:

- a) Las líneas que empiezan con la palabra **GLOBAL** se utilizan para configurar los valores generales por defecto del precio de la energía, patrón de precio, y el rendimiento de bombeo para todas las bombas.
- b) Las líneas que empiezan con la palabra **PUMP** se utilizan para modificar los valores predeterminados en bombas específicas.
- c) A continuación definiremos los parámetros:
  - **PRICE** = incremento del coste por kW-hora,
  - **PATTERN** = etiqueta ID del patrón de tiempos que describe cómo varía la energía con el tiempo,
  - **EFFIC** = rendimiento general o etiqueta ID de la curva de rendimiento de una bomba en particular,
  - **DEMAND CHARGE** = añade coste por kW máximo usado durante el periodo de simulación.
- d) El rendimiento general por defecto es del 75% y el precio de la energía es 0.
- e) Todas las entradas en ésta sección son opcionales. Todo aquello marcado con (/) indica las opciones disponibles.

### Ejemplo:

```
[ENERGY]
GLOBAL PRICE      0.05      ;determina el precio global de la energía
GLOBAL PATTERN    PAT1      ;y la hora del día en el patrón
PUMP  23  PRICE    0.10      ;Reescribe el precio para la bomba 23
PUMP  23  EFFIC    E23       ;Signa curva de rendimiento a la bomba 23
```

## [JUNCTIONS]

### Propósito:

Define las conexiones nudo que se encuentran en la red.

### Formato:

Una línea por cada conexión contiene:

- Etiqueta ID
- Altura geométrica, ft (m)
- Caudal de demanda base (unidades de caudal) (opcional)
- Etiqueta ID del patrón de demanda (opcional)

### Comentarios:

- b. La sección [JUNCTIONS] es requerida con tan sólo una conexión.
- c. Si no se asigna un patrón de demanda la demanda de la conexión seguirá el Patrón de Demanda Predeterminado especificado en la sección [OPTIONS] o Patrón 1 (Pattern 1) si no es predeterminado ninguno. Si el patrón predeterminado (o Patrón 1) no existe, entonces la demanda permanecerá constante.
- d. Las demandas también se pueden introducir en la sección [DEMANDS] e incluir diferentes tipos de demanda por conexión.

### Ejemplo:

```
[JUNCTIONS]
;ID      Elev.    Demand    Pattern
;-----
J1      100      50        Pat1
J2      120      10
J3      115
;Utiliza el patrón de demanda por defecto
;No hay demanda en ésta conexión
```

## [LABELS]

### Propósito:

Asignar coordenadas a las etiquetas de plano.

### Formato:

Una línea por cada etiqueta contiene:

- Coordenada X
- Coordenada Y
- Texto de la etiqueta entre comillas
- Etiqueta ID del anclaje al nudo (opcional)

### Comentarios:

- a. Incluye una línea por cada etiqueta en el plano.
- b. Las coordenadas son de la esquina superior izquierda de la etiqueta y su origen arbitrario se encuentra en la zona inferior del plano.
- c. El ancla opcional del nudo, ancla la etiqueta al nudo cuando el plano es redimensionado fruto de operaciones de zoom.
- d. La sección [LABELS] es opcional y no se utiliza cuando EPANET funciona como una aplicación en consola.

### Ejemplo:

```
[LABELS]
;X-Coord.   Y-Coord.   Label                Anchor
;-----
  1230      3459      "Pump 1"
  34.57     12.75     "North Tank"        T22
```

## [MIXING]

### Propósito:

Identifica el modelo que gobierna el mezclado en los tanques de almacenamiento.

### Formato:

Una línea por tanque contiene:

- Etiqueta ID del tanque
- Modelo de mezclado (MIXED, 2COMP, FIFO, o LIFO)
- Volumen del compartimento (fracción)

### Comentarios:

- a. Los modelos de mezclado incluyen:
  - Mezclado Completo (MIXED)
  - Dos Compartimentos de mezclado (2COMP)
  - FIFO (Plug Flow)
  - LIFO (Stacked Plug Flow)
- b. El parámetro volumen de compartimento sólo se aplica en el modelo 2COMP y representa la fracción del volumen total del tanque utilizado en el compartimento de entrada/salida.
- c. La sección [MIXING] es opcional. Los tanques que no se describen en ésta sección se tratarán con mezclado completo.

### Ejemplo:

```
[MIXING]
; Tank      Model
;-----
T12        LIFO
T23        2COMP      0.2
```

## [OPTIONS]

### Propósito:

Define 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> nombre de archivo
<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>	nombre de archivo

### Definiciones:

**UNIDADES** (UNITS) , determina las unidades en las que se expresa el caudal donde:

<b>CFS</b>	=	Pies cúbicos por segundo
<b>GPM</b>	=	Galones por minuto
<b>MGD</b>	=	Millones de galones por día
<b>IMGD</b>	=	MGD imperiales (Británicos)
<b>AFD</b>	=	Acre-pie 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

En el caso de **CFS**, **GPM**, **MGD**, **IMGD**, y **AFD** las unidades para todas las mediciones serán americanas. Si las unidades de caudal son litros o metros cúbicos entonces se utilizará el SI para el resto de las mediciones. (Ver Apéndice A. Unidades de Medida). Las unidades por defecto son **GPM**.

**HEADLOSS** (PÉRDIDAS) selecciona la fórmula a utilizar para calcular las pérdidas debido al paso del caudal por las tuberías. Las posibilidades son las fórmulas de Hazen-Williams (**H-W**), Darcy-

Weisbach (**D-W**), o Chezy-Manning (**C-M**). Por defecto se utiliza **H-W**.

La opción **HYDRAULICS** (HYDRÁULICA) le permite **GUARDAR** (SAVE) la solución hidráulica actual en un fichero o **UTILIZAR** (USE) una solución hidráulica guardada anteriormente. Esto es útil cuando se estudian factores que tan sólo afectan al comportamiento de la calidad del agua.

**QUALITY** (CALIDAD) selecciona el tipo de análisis de calidad de agua ha realizar. Las posibilidades son **NONE** (NINGUNO), **CHEMICAL** (QUÍMICO), **AGE** (EDAD), y **TRACE** (TRAZA). En lugar de **CHEMICAL** se puede utilizar el nombre del componente químico seguido de sus unidades de concentración (por ejemplo, **CHLORINE mg/L** para el cloro). Si se selecciona **TRACE** debe ir seguido de la etiqueta ID del nudo que se estudia. La selección por defecto es **NONE** (sin análisis de calidad del agua).

**VISCOSITY** es la viscosidad cinemática del fluido que se modeliza relativa a la del agua a 20°C (1.0 centistokes). El valor predeterminado es 1.0.

**DIFFUSIVITY** es la difusividad molecular del componente de estudio relativa al del cloro en el agua. El valor predeterminado es 1.0. La difusividad sólo se utiliza cuando se consideran las limitaciones de transferencia de masa en las reacciones en la pared de la tubería. Un valor de 0 provocará que EPANET ignore éstas limitaciones.

**SPECIFIC GRAVITY** es el peso específico del fluido de estudio (densidad con respecto a la del agua a 4°C, adimensional).

**TRIALS** es el número máximo de iteraciones utilizadas para resolver la red hidráulica en cada periodo hidráulico de la simulación. El valor por defecto es 40.

**ACCURACY** preescribe el criterio de convergencia que determina cuando se ha encontrado la solución hidráulica. Las iteraciones terminan cuando la suma de todos los caudales de una misma iteración dividido por el caudal total de todas las líneas es menor que ese número. El valor predeterminado es 0.001.

**UNBALANCED** determina que ocurre cuando la solución hidráulica no se puede encontrar con el número de iteraciones propuestas en **TRIALS** en algún periodo hidráulico de la solución. **"STOP"**, detendrá todo el análisis en éste punto. **"CONTINUE"**, continuará el análisis con un mensaje de error. **"CONTINUE n"**, continuará la búsqueda de la solución con otras "n" iteraciones más manteniendo fijo el estado de todas las líneas en la actual configuración. La simulación continuará en éste punto con un mensaje resultado sobre si la convergencia se ha conseguido o no. La elección por defecto es **"STOP"**.

**PATTERN** toma la etiqueta ID del patrón de demanda predeterminado para aplicar en todas las conexiones cuando no se ha especificado ningún patrón de demanda. Si no existe ningún patrón en la sección [PATTERNS] entonces el patrón por defecto consistirá en un único factor igual a 1.0. Si ésta opción no se utiliza, entonces el patrón de demanda general predeterminado tiene una etiqueta de "1".

**DEMAND MULTIPLIER** se utiliza para ajustar los valores base de las demandas para todas las conexiones y todos los tipos de demandas. Por ejemplo, un valor de 2 dobla todas las demandas base, mientras que un valor de 0.5 las dividirá. El valor por defecto es 1.0.

**EMITTER EXPONENT** especifica la potencia a la que es elevada la presión en la conexión cuando se calcula el caudal resultante desde un emisor. El valor por defecto es 0.5.

**MAP** se utiliza para nombrar el fichero que contiene las coordenadas de los nudos del sistema para que se puede dibujar un plano del mismo. No es utilizado en ningún cálculo hidráulico o de calidad del agua.

**TOLERANCE** es la diferencia en el nivel de calidad del agua por debajo del cual podemos decir que un segmento de agua es esencialmente igual a otro. El valor predeterminado es 0.01 para todos los tipos de análisis de calidad (químico, de edad (medido en horas), o seguimiento de fuente (medido en

percentiles)).

**Comentarios:**

- a. Si no se especifica en ésta sección, todas las opciones tomarán sus valores predeterminados.
- b. Los campos marcados con (/) indican opciones permitidas.

**Ejemplo:**

```
[OPTIONS]
UNITS      CFS
HEADLOSS   D-W
QUALITY     TRACE Tank23
UNBALANCED CONTINUE 10
```



## [PATTERNS]

### Propósito:

Define los patrones de tiempo.

### Formato:

Una o más líneas por cada patrón contiene:

- Etiqueta ID del patrón
- Uno o más factores

### Comentarios:

- Los factores determinan qué cantidad base (por ejemplo, demanda) se ajusta en cada intervalo de tiempo.
- Todos los patrones tienen el mismo intervalo de tiempo tal y como se describe en la sección [TIMES].
- Cada patrón tiene un número diferente de intervalos.
- Cuando el tiempo de simulación supera la longitud del patrón, el patrón empezará de nuevo en su primer intervalo.
- Utiliza todas las líneas que sean necesarias para introducir todos los factores del patrón.

### Ejemplo:

```
[PATTERNS]
;Pattern P1
P1    1.1    1.4    0.9    0.7
P1    0.6    0.5    0.8    1.0
;Pattern P2
P2    1      1      1      1
P2    0      0      1
```

## [PIPES]

### Propósito:

Define todas las líneas tubería que se encuentran en el sistema.

### Formato:

Una línea para cada tubería contiene:

- Etiqueta ID de la Tubería
- ID del nudo inicio
- ID del nudo final
- Longitud, ft (m)
- Diámetro, pulgadas (mm)
- Coeficiente de rozamiento
- Coeficiente de pérdidas menores
- Estado (OPEN, CLOSED, o CV)

### Comentarios:

- a. El coeficiente de rozamiento es adimensional para las ecuaciones de pérdidas de Hazen-Williams y Chezy-Manning y tiene unidades de milipies (mm) para la ecuación de Darcy-Weisbach. La elección de la ecuación de pérdidas se suministra en la sección [OPTIONS].
- b. Configurar el estado como CV significa que la tubería tiene una válvula de control que restringe el caudal a una sola dirección.
- c. Si el coeficiente de pérdidas menores es 0 y la tubería está OPEN entonces estas dos características pueden omitirse en la línea de comando.

### Ejemplo:

```
[PIPES]
;ID Node1 Node2 Length Diam. Roughness Mloss Status
;-----
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:

Define todas las líneas bomba que se encuentran en el sistema.

### Formato:

Una línea para cada bomba contiene:

- Etiqueta ID de la Bomba
- ID del nudo inicio
- ID del nudo final
- Consigna y Valor (pueden repetirse)

### Comentarios:

- a. Las consignas consisten en:
  - **POWER** – potencia de la bomba, CV (kW)
  - **HEAD** - ID de la curva característica de la bomba
  - **SPEED** – configuración de la velocidad relativa (velocidad normal es 1.0, 0 significa que la bomba no está funcionando)
  - **PATTERN** - ID del patrón de tiempos que describe cómo varía la velocidad con el tiempo
- b. Tanto **POWER** como **HEAD** deben suministrarse para cada bomba. Las otras consignas son opcionales.

### Ejemplo:

```
[PUMPS]
;ID      Node1      Node2      Properties
;-----
Pump1    N12         N32         HEAD Curve1
Pump2    N121        N55         HEAD Curve1  SPEED 1.2
Pump3    N22         N23         POWER 100
```

## [QUALITY]

### **Propósito:**

Define la calidad inicial de agua en los nudos.

### **Formato:**

Una línea por nudo contiene:

- Etiqueta ID del Nudo
- Calidad inicial

### **Comentarios:**

- a. Se tomará calidad igual a cero en los nudos que no se mencionen.
- b. La Calidad representa la concentración para componentes químicos, horas para la edad del agua o percentiles para el seguimiento de fuentes.
- c. La sección [QUALITY] es opcional.

## [REACTIONS]

### Propósito:

Define los parámetros relativos a las reacciones químicas que se dan en el sistema.

### Formatos:

<b>ORDER BULK/WALL/TANK</b>	valor
<b>GLOBAL BULK/WALL</b>	valor
<b>BULK/WALL/TANK</b>	IDtubería valor
<b>LIMITING POTENTIAL</b>	valor
<b>ROUGHNESS CORRELATION</b>	valor

### Definiciones:

**ORDER** se utiliza para determinar el orden en el que ocurren las reacciones en el seno del flujo, en la pared de la tuberías o en los tanques, respectivamente. Los valores para las reacciones en la pared deben estar entre 0 y 1. Si no es suministrado el orden de la reacción por defecto es 1.0.

**GLOBAL** se utiliza para configurar el valor general para todos los coeficientes de la reacción en el seno (tuberías y tanques) o para todos los coeficientes de la reacción en la pared. El valor predeterminado es cero.

**BULK**, **WALL**, y **TANK** se utilizan para determinar el coeficiente general de reacción para tuberías y tanques específicos.

**LIMITING POTENTIAL** especifica las velocidades de reacción que son proporcionales a la diferencia entre la concentración actual y algún valor límite.

**ROUGHNESS CORRELATION** hace que todos los coeficientes de reacción en la pared de la tubería guarden relación con el coeficiente de rozamiento de la siguiente forma:

<u>Ecuación de Pérdidas</u>	<u>Ajuste de la Rugosidad</u>
Hazen-Williams	F / C
Darcy-Weisbach	F / log(e/D)
Chezy-Manning	F*n

donde F = correlación de rugosidad, C = factor C de H-W, e = rugosidad de D-W, D = diámetro de la tubería, y n = coeficiente de rozamiento de C-M. El valor por defecto calculado de éste modo se puede asignar a cualquier tubería utilizando el formato **WALL** para aportar un valor específico a la tubería.

### Comentarios:

- Recordar utilizar un valor positivo en los coeficientes de crecimiento de reacción y un valor negativo en los coeficientes de decaimiento.
- Las unidades de tiempo para todos los coeficientes de reacción son 1/días.
- Todas las entradas en ésta sección son opcionales. Los campos marcados con (/) indican opciones permitidas.

**Ejemplo:**

```
[REACTIONS]
ORDER WALL      0      ;reacciones en la pared lineales
GLOBAL BULK     -0.5   ;Coeff. Global de disminución en flujo
GLOBAL WALL     -1.0   ;Coeff. Global de disminución en pared
WALL P220       -0.5   ;Coeffs. de pared para determinadas
WALL P244       -0.7   ;tuberías
```

## [REPORT]

### Propósito:

Describe los contenidos del informe de salida tras la simulación.

### Formatos:

<b>PAGESIZE</b>	valor
<b>FILE</b>	nombre de archivo
<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/nodo1 nodo2 ...</b>
<b>LINKS</b>	<b>NONE/ALL/elemento1 elemento2 ...</b>
Parámetro	<b>YES/NO</b>
Parámetro	<b>BELOW/ABOVE/PRECISION</b> valor

### Definiciones:

**PAGESIZE** configura el número de líneas por página en el informe de salida. El valor por defecto es 0, significa que no hay límite de líneas por página.

**FILE** suministra el nombre del fichero en el que se guardará el informe de salida (ignorado por la versión de EPANET bajo Windows).

**STATUS** determina si se añade el informe de estado hidráulico. Si se selecciona **YES** el informe identificará todos los componentes del sistema que cambien su estado durante cada periodo de la simulación. Si se selecciona **FULL**, entonces el informe de estado tan sólo incluirá la información desde cada iteración de cada análisis hidráulico. Éste nivel de detalle tan sólo es útil para sistemas de eliminación de errores que se convierten en hidráulicamente inestables. La elección por defecto es **NO**.

**SUMMARY** determina si se crea una tabla con los componentes del sistema numerados y las claves de las opciones de análisis. La elección por defecto es **YES**.

**ENERGY** determina si se suministra una tabla informando de la variación de energía utilizada y el coste en cada bomba. La elección por defecto es **NO**.

**NODES** identifica los nudos a incluir en el informe. Puede nombrar las ID de cada nudo o utilizar las claves **NONE** o **ALL**, Ninguno o Todos. Se pueden añadir líneas adicionales de tipo **NODES** para continuar con el listado de los nudos. La elección por defecto es **NONE**.

**LINKS** identifica las líneas a incluir en el informe. Puede nombrar las ID de cada línea o utilizar las claves **NONE** o **ALL**, Ninguno o Todos. Se pueden añadir líneas adicionales de tipo **LINKS** para continuar con el listado de las líneas. La elección por defecto es **NONE**.

La opción del informe “parameter” se utiliza para identificar que cantidades aparecerán, cuantos decimales se utilizarán, y que tipo de filtrado se utilizará para limitar las salida de datos. Los parámetros de Nudo que pueden incluirse en el informe son:

- **Altura Geométrica**
- **Demanda**

- **Altura (Carga)**
- **Presión**
- **Calidad.**

Los parámetros de Línea incluyen:

- **Longitud**
- **Diámetro**
- **Caudal**
- **Velocidad**
- **Pérdidas**
- **Posición** (lo mismo que estado – abierto, activo, cerrado)
- **Configuración** (Rugosidad para las tuberías, velocidad para las bombas, presión/caudal para las válvulas)
- **Reacción** (velocidad de reacción)
- **Factor-F** (factor de fricción).

Las cantidades predeterminadas son **Demanda**, **Altura**, **Presión**, y **Calidad** para los nudos y **Caudal**, **Velocidad**, y **Pérdidas** para las líneas. La precisión por defecto es dos decimales.

#### **Comentarios:**

- a. Todas las opciones utilizarán sus valores predeterminados si no se especifica lo contrario en ésta sección.
- b. Todas las entradas en ésta sección son opcionales. Los campos marcados con (/) indican opciones permitidas.
- c. El informe predeterminado no incluye líneas o nudos, así que debe suministrar las opciones de **NUDO** o **LÍNEA** si desea que los resultados en éstos campos aparezcan en el informe.
- d. Para la versión de EPANET bajo Windows, la única opción [REPORT] reconocida es **STATUS**. Las demás se ignoran.



**Ejemplo:**

El siguiente ejemplo de informe incluye información de los nudos N1, N2, N3, y N17 y todas las líneas con velocidad superior a 3.0. Los parámetros estándar de nudo (Demanda, Altura, Presión, y Calidad) aparecen en el informe mientras que tan sólo el Caudal, la Velocidad y el factor F se mostrarán para las líneas.

```
[REPORT]
NODES N1 N2 N3 N17
LINKS ALL
FLOW YES
VELOCITY PRECISION 4
F-FACTOR PRECISION 4
VELOCITY ABOVE 3.0
```

## [RESERVOIRS]

### Propósito:

Define todos los nudos depósito que se encuentran en el sistema.

### Formato:

Una línea por cada depósito contiene:

- Etiqueta ID
- Altura, Carga, ft (m)
- ID del Patrón de Carga (opcional)

### Comentarios:

- a. La altura es la altura hidráulica (elevación + presión) del agua en el depósito.
- b. Se puede utilizar un patrón de carga para hacer que la altura del depósito varíe con el tiempo.
- c. En la red, tiene que haber, al menos, un depósito o tanque.

### Ejemplo:

```
[RESERVOIRS]
;ID      Head      Pattern
;-----
R1      512                ;Altura constante
R2      120      Pat1     ;Altura varía con el tiempo
```

## [RULES]

### Propósito:

Define los controles programados que modifican las líneas en función de una combinación de condiciones.

### Formato:

Cada control es una serie de enunciados de la siguiente forma:

```

RULE IDcontrol
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 valor
  
```

donde:

```

IDcontrol      = Etiqueta ID asignada al control
Condición_n    = Cláusula de condición
Acción_n       = Cláusula de acción
Priority       = Valor prioritario (p.e., un número del 1 al 5)
  
```

### Formato de la Cláusula de Condición:

La cláusula de condición en un control programado tiene la siguiente forma:

```
object id attribute relation value
```

donde

```

object      = Tipo de objeto del sistema
id          = Etiqueta ID del objeto

attribute   = Atributo o propiedad del objeto

relation    = Operador relacional

value       = Valor de atributo
  
```

Algunos ejemplos de cláusulas de condición son:

```
JUNCTION 23 PRESSURE > 20
TANK T200 FILLTIME BELOW 3.5
LINK 44 STATUS IS OPEN
SYSTEM DEMAND >= 1500
SYSTEM CLOCKTIME = 7:30 AM
```

La consigna del objeto puede ser cualquiera de las 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 **SYSTEM** en una condición no se suministran ID's.

Los siguientes atributos pueden utilizarse con los objetos tipo Nudo:

**DEMAND**  
**HEAD**  
**PRESSURE**

Los siguientes atributos pueden utilizarse con los tanques:

**LEVEL**  
**FILLTIME** (horas necesarias para llenar un tanque)  
**DRAINTIME** (horas necesarias para vaciar un tanque)

Estos atributos pueden utilizarse con los objetos tipo Línea:

**FLOW**  
**STATUS** (**OPEN**, **CLOSED**, o **ACTIVE**)  
**SETTING** (velocidad de la bomba o tarado de la válvula)

El objeto **SYSTEM** puede utilizar los siguientes atributos:

**DEMAND** (demanda total del sistema)  
**TIME** (horas desde el inicio de la simulación expresadas en decimales o en formato horario)  
**CLOCKTIME** (reloj de 24 horas con **AM** o **PM**)

Los operadores relacionales consisten en lo siguiente:

```
=      IS (IGUAL, ES)
<>    NOT (NO)
<      BELOW (INFERIOR)
>      ABOVE (SUPERIOR)
<=     >=
```

### Formato de la cláusula de acción:

Una cláusula de acción en un control programado toma la siguiente forma:

```
object id STATUS/SETTING IS value
```

donde

```
object = Consignas LINK, PIPE, PUMP, o VALVE
id      = Etiqueta ID del objeto
value   = Condición de estado (OPEN o CLOSED), velocidad de la bomba, o tarado
         de la válvula
```

Algunos ejemplos de cláusulas de acción son:

```
LINK 23 STATUS IS CLOSED
PUMP P100 SETTING IS 1.5
VALVE 123 SETTING IS 90
```

### Comentarios:

- Tan sólo se requieren los comandos **RULE**, **IF** y **THEN** del control programado; los demás comandos son opcionales.
- Cuando mezclamos los operadores **AND** y **OR**, el operador **OR** tiene preferencia sobre el **AND**, es decir,

```
IF A or B and C
```

es equivalente a

```
IF (A or B) and C.
```

Si la interpretación ha de ser

```
IF A or (B and C)
```

entonces se puede expresar utilizando dos controles, tal y como sigue

```
IF A THEN ...
```

```
IF B and C THEN ...
```

- El valor de **PRIORITY** se utiliza para determinar que control se aplica cuando dos o más controles entran en conflicto en una línea. Un control sin valor de prioridad siempre la tendrá menor que otro con cualquier valor. En el caso de dos controles con el mismo valor de prioridad, tendrá preferencia el control que aparezca primero.

**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:

Define la localización de las fuentes de calidad del agua.

### Formato:

Una línea para cada fuente de calidad contiene:

- Etiqueta ID del nudo
- Tipo de fuente (**CONCEN**, **MASS**, **FLOWPACED**, o **SETPOINT**)
- Concentración base de la fuente
- ID del Patrón de Tiempos (opcional)

### Comentarios:

- a. Para el tipo de fuente **MASS** (Másica), la concentración se mide en unidades de caudal másico por minuto. Los otros tipos de fuente en unidades de concentración.
- b. La concentración de la fuente puede variar con el tiempo especificando un patrón de tiempos.
- c. Una fuente tipo **CONCEN** (de Concentración):
  - Representa la concentración de cualquier caudal entrante al nudo
  - Se aplica sólo cuando el nudo tiene una demanda neta negativa (el agua entra al sistema por el nudo)
  - Si el nudo es una conexión, la concentración es la mezcla del caudal de la fuente y el caudal entrante al nudo desde el resto del sistema
  - Si el nudo es un depósito, la concentración es la concentración fuente
  - Si el nudo es un tanque, la concentración es la concentración interna del tanque
  - Se utiliza mucho mejor para nudos que representan fuentes suministradoras de agua o plantas de tratamiento (por ejemplo, depósitos o nudos con demanda negativa)
  - No debería utilizarse en tanques de almacenamiento con entrada/salida simultánea.
- d. Las fuentes de tipo **MASS** (Másica), **FLOWPACED** (Caudal Entrante), o **SETPOINT** (Concentración Fija):
  - Representan fuentes de aporte en línea, cuando la sustancia es inyectada directamente en la red independientemente de cuál sea la demanda en el nudo
  - Afectan al agua que deja el nudo de la siguiente forma:
    - **MASS**, añade un caudal másico fijo al caudal final entrante al nudo
    - **FLOWPACED**, añade una concentración fija a la concentración final entrante al nudo
    - **SETPOINT**, fija la concentración de cualquier caudal que deje el nudo (siempre y cuando la concentración total de los caudales entrantes esté por debajo del valor que fija la fuente)
  - La concentración final en una conexión o depósito fuente de aporte es la concentración resultado después de aplicar el aporte; la concentración final de un tanque con fuente de aporte es la concentración interna del tanque
  - Son las mejores opciones para modelizar la inyección directa de un trazador o desinfectante en la red o para simular una intrusión contaminante.

- e. La sección [SOURCES] no es necesaria para simular la edad del agua o el seguimiento de una fuente.

**Ejemplo:**

```
[SOURCES]
;Node  Type      Strength  Pattern
;-----
N1     CONCEN     1.2       Pat1    ;Concentración varía con el tiempo
N44    MASS        12        ;Inyección constante másica
```



## [STATUS]

### Propósito:

Define el estado inicial de las líneas seleccionados al inicio de la simulación.

### Formato:

Una línea por cada elemento controlado contiene:

- Etiqueta ID de la línea
- Estado o Tarado

### Comentarios:

- Las líneas que no se mencionen en ésta sección tienen un estado predeterminado de **OPEN** (ABIERTO para tuberías y bombas) o **ACTIVE** (ACTIVO para válvulas).
- El valor del estado puede ser **OPEN** o **CLOSED** (ABIERTO o CERRADO). Para las válvulas de control (es decir, VRPs, VCQs, etc.) significa que están completamente abiertas o cerradas, no activas con su tarado.
- El valor consigna puede ser una velocidad para las bombas o el tarado para las válvulas.
- El estado inicial de las tuberías también se puede configurar en la sección [PIPES].
- Las válvulas de control no tienen un estado predeterminado.
- Utilice [CONTROLS] o [RULES] para cambiar el estado o configurarlo en algún punto futuro de la simulación.
- Si una válvula de control **CLOSED** o **OPEN** pasa al estado **ACTIVE** de nuevo, entonces su presión o caudal de tarado deben ser especificados en un control simple o programado que la reactive.

### Ejemplo:

```
[STATUS]
; Link      Status/Setting
;-----
L22        CLOSED          ;Línea L22 está cerrado
P14        1.5             ;Velocidad para la bomba P14
PRV1       OPEN           ;PRV1 se fuerza a abrir
; (mantener operaciones normales)
```

## [TAGS]

### Propósito:

Asocia tipos de marcas a nudos y líneas específicos.

### Formato:

Una línea por cada nudo o línea con marca contiene

- La consigna NODE o LINK
- La etiqueta ID del nudo o línea
- El texto de la marca o etiqueta (sin espacios en blanco)

### Comentarios:

- a. Las marcas pueden ser útiles para asignar nudos a diferentes zonas de presión o para clasificar las tuberías según el material y la edad.
- b. Si la marca de un nudo o línea no se identifica en ésta sección entonces se supone en blanco.
- c. La sección [TAGS] es opcional y no tiene efecto sobre los cálculos hidráulicos o de calidad del agua.

### Ejemplo:

```
[TAGS]
;Object ID      Tag
;-----
NODE     1001   Zone_A
NODE     1002   Zone_A
NODE       45   Zone_B
LINK     201   UNCI-1960
LINK     202   PVC-1985
```

## [TANKS]

### Propósito:

Define todos los nudos tanque que se encuentran en el sistema.

### Formato:

Una línea por cada tanque contiene:

- Etiqueta ID
- Altura geométrica del fondo, ft (m)
- Nivel inicial del agua, ft (m)
- Nivel mínimo del agua, ft (m)
- Nivel máximo del agua, ft (m)
- Diámetro nominal, ft (m)
- Volumen mínimo, ft cúbicos (metros cúbicos)
- ID de la curva de volumen (opcional)

### Comentarios:

- a. La altura de la superficie del agua es igual a la altura del fondo del tanque más el nivel de agua en el mismo.
- b. Los tanques no cilíndricos pueden modelizarse especificando una curva de volumen Vs profundidad del agua en la sección [CURVES].
- c. Si se suministra una curva de volumen el valor del diámetro puede ser cualquier número no nulo
- d. El volumen mínimo (volumen del tanque al nivel mínimo del agua) puede ser cero para tanques cilíndricos o si se aporta una curva de volumen.
- e. Un sistema debe contener al menos un tanque o depósito.

### Ejemplo:

```
[TANKS]
;ID Elev. InitLvl MinLvl MaxLvl Diam MinVol VolCurve
;-----
;Tanque Cilíndrico
T1 100 15 5 25 120 0
;Tanque No Cilíndrico con diámetro arbitrario
T2 100 15 5 25 1 0 VC1
```

## [TIMES]

### Propósito:

Define varios parámetros de los intervalos de tiempo en 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 ( <b>AM/PM</b> )
<b>STATISTIC</b>	<b>NONE/AVERAGED/ MINIMUM/MAXIMUM RANGE</b>

### Definiciones:

**DURATION** es la duración de la simulación. Utilice 0 para análisis en régimen permanente. El valor por defecto es 0.

**HYDRAULIC TIMESTEP** determina cada cuanto se calcula un nuevo estado hidráulico del sistema. Si es mayor que los intervalos de **PATTERN** o **REPORT** se reducirá automáticamente. El valor por defecto es 1 hora.

**QUALITY TIMESTEP** es el intervalo de tiempo utilizado para llevar a cabo los cambios en la calidad del agua a través del sistema. El valor por defecto es 1/10 del intervalo hidráulico.

**RULE TIMESTEP** es el intervalo de tiempo utilizada para comprobar los cambios en el estado del sistema tras la activación de los controles programados entre los intervalos hidráulicos. El valor por defecto es 1/10 del intervalo hidráulico.

**PATTERN TIMESTEP** es el intervalo entre los periodos de todos los patrones de tiempo. El valor por defecto es 1 hora.

**PATTERN START** es el momento en el que comienzan todos los patrones. Por ejemplo, un valor de 6 horas comenzaría la simulación con cada patrón en el periodo correspondiente a la hora 6. El valor por defecto es 0.

**REPORT TIMESTEP** configura el intervalo de tiempo dentro del cual los resultados de salida se incluyen en el informe. El valor por defecto es 1 hora.

**REPORT START** es la longitud del tiempo en la simulación a partir de la cual los resultados de salida se incluyen en el informe. El valor por defecto es 0.

**START CLOCKTIME** es la hora del día (es decir, 3:00 PM) a la que comienza la simulación. La hora por defecto es 12:00 AM medianoche.

**STATISTIC** determina que tipo de procesamiento estadístico se utilizará para generar los resultados de la simulación. **AVERAGED** proporciona el valor medio en el informe, **MINIMUM** sólo el

valor mínimo, **MAXIMUM** el valor máximo, y **RANGE** incluye en el informe la diferencia entre el valor mínimo y el máximo. **NONE** incluye en el informe todos los valores en cada intervalo de tiempo para todos los nudos y líneas y es la opción predeterminada.

#### Comentarios:

- a. Las unidades pueden ser **SECONDS (SEC)** (SEGUNDOS), **MINUTES (MIN)** (MINUTOS), **HOURS** (HORAS), o **DAYS** (DÍAS). Por defecto son horas.
- b. Si no se suministran las unidades, entonces los valores de tiempo pueden introducirse en notación decimal o en notación horaria.
- c. Todas las entradas en la sección [TIMES] son opcionales. Los campos marcados con (/) indican opciones permitidas.

#### Ejemplo:

```
[TIMES]
DURATION          240 HOURS
QUALITY Timestep  3 MIN
REPORT START      120
STATISTIC         AVERAGED
START CLOCKTIME   6:00 AM
```

## [TITLE]

**Propósito:**

Adjunta un título descriptivo del sistema que se está analizando.

**Formato:**

Cualquier número de líneas de texto.

**Comentarios:**

La sección [TITLE] es opcional.

## [VALVES]

### Propósito:

Define todas las líneas válvulas de control que se encuentran en el sistema.

### Formato:

Una línea por cada válvula contiene:

- Etiqueta ID de la válvula
- ID del nudo inicio
- ID del nudo final
- Diámetro, pulgadas (mm)
- Tipo de válvula
- Tarado de la válvula
- Coeficiente de Pérdidas Menores

### Comentarios:

- a. Los tipos de válvulas y sus tarados incluyen:

<u>Tipo de válvula</u>	<u>Tarado</u>
PRV (válvula reductora de presión)	Presión, mca (psi)
PSV (válvula sostenedora de presión)	Presión, mca (psi)
PBV (válvula de rotura de carga)	Presión, mca (psi)
FCV (válvula controladora de caudal)	Caudal (unidades de caudal)
TCV (válvula reguladora por estrangulación)	Coeficiente de Pérdidas
VPG (válvula de propósito general)	ID de la Curva de Pérdidas

- b. Las válvulas de cierre y de retención se consideran parte de una tubería, y no un componente separado (ver [PIPES])

## [VERTICES]

### Propósito:

Asigna vértices interiores a las líneas del sistema.

### Formato:

Una línea por cada punto en cada elemento que contiene los puntos incluye:

- Etiqueta ID del línea
- Coordenada X
- Coordenada Y

### Comentarios:

- a. Los puntos vértice permiten que las líneas se dibujen como polilíneas en vez de un simple segmento recto entre dos nudos.
- b. Las coordenadas son referidas al mismo sistema utilizado para las coordenadas de los nudos y las etiquetas.
- c. La sección [VERTICES] es opcional y no se utiliza cuando EPANET trabaja en modo consola.

### Ejemplo:

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



### C.3. Formato del Fichero Informe.

Los apartados suministrados en la sección [REPORT] del fichero de entrada controla los contenidos del informe que se genera desde la línea de comando que arranca EPANET. Una parte del informe generado desde el archivo de entrada de la Figura C.1 se muestra en la Figura C.2. En general un informe puede contener las siguientes secciones:

- Sección de Estado (Status Section)
- Sección de Energía (Energy Section)
- Sección de Nudos (Nodes Section)
- Sección de Líneas (Links Section)

#### Sección de Estado

La Sección de Estado del informe de salida recopila el estado inicial de todos los depósitos, tanques, bombas, válvulas y tuberías cerradas así como cualquier cambio en el estado de estas líneas que se pueda dar a lo largo de toda la simulación en régimen transitorio. El estado de los depósitos y de los tanques indica si están llenando o vaciando. El estado de las líneas indica si están cerradas o abiertas, además de la velocidad relativa en el caso de la bomba y la presión/caudal para las válvulas de control. Para incluir una Sección de Estado en el informe utilice el comando **STATUS YES** en la sección [REPORT] del archivo de entrada.

Utilizando **STATUS FULL** también generaremos un listado completo de los resultados de todas las iteraciones de cada análisis hidráulico hecho a lo largo de la simulación. Éste listado también mostrará que componentes han cambiado de estado durante las iteraciones. Éste nivel de detalle tan sólo es útil cuando uno está intentando encontrar el error que produce el fallo de convergencia porque el estado de un componente cambia cíclicamente.

#### Sección de Energía.

La Sección de Energía del informe de salida muestra una lista de los consumos energéticos y sus costes para cada bomba del sistema. Las variables mostradas para cada bomba incluyen:

- Utilización (Percent Utilization), tanto por ciento de tiempo durante el cual la bomba funciona
- Rendimiento medio (Average Efficiency)

- Kilovatios-hora consumidos por millones de galones (o metros cúbicos) trasegados
- Kilovatios medio consumidos (Average Kilowatts)
- Kilovatios consumidos en hora punta (Peak Kilowatts)
- Coste medio (Average cost) por día

También se muestra una lista del coste total de bombeo por día y la carga total demandada (coste basado en la energía punta utilizada) hecha. Para incluir una Sección de Energía en el informe, el comando **ENERGY YES** debe aparecer en la sección [REPORT] del fichero entrada.

```

Página 1                                     22/10/01 11:37:26
*****
*                                     E P A N E T                                     *
*                               Análisis Hidráulico y de                               *
*                               Calidad del Agua para                               *
*                               Redes de Tuberías                                   *
*                               Versión 2.0                                       *
*****
  Archivo de Entrada: Net1.net
  Ejemplo 1 de Red en EPANET
  Es un sencillo ejemplo de simulación de desaparición del cloro.
  Están incluidas tanto las reacciones en el seno del flujo como
  en la pared.

Tabla Línea - Nudo:
-----
ID      Nudo      Nudo      Longitud  Diámetro
Línea   Inicial   Final     ft        in
-----
10      10         11        10530     18
12      12         13        5280      10
21      21         22        5280      10
22      22         23        5280      12
31      31         32        5280       6
110     2          12        200       18
111     11         21        5280      10
112     12         22        5280      12
113     13         23        5280       8
121     21         31        5280       8
122     22         32        5280       6
9       9          10        #N/A      #N/A Bomba
1       11         12        #N/A      12 Válvula

Consumo Energético:
-----
Bomba   Factor   Avg.     Kw-hr     Avg.     Máx.     Coste
Utiliz. Utiliz.  Rend.    /Mgal    Kw       Kw       /día
-----
9       100.00  75.00    1152.43   86.41    90.53    0.00
-----
Demanda:                                0.00
Coste Total:                             0.00

```

**Figura C.2** Fragmento del Archivo Informe (continúa en la siguiente página)

Página 2 Ejemplo 1 de Red en EPANET

Resultados de Nudo en 0:00 Hrs:

ID Nudo	Demanda GPM	Altura ft	Presión psi	Calidad mg/L	
10	0.00	1074.71	158.03	0.50	
11	150.00	1065.50	154.04	0.50	
12	150.00	970.00	116.99	0.50	
13	100.00	969.96	119.14	0.50	
21	150.00	1001.56	130.67	0.50	
22	200.00	972.79	120.37	0.50	
23	150.00	971.37	121.92	0.50	
31	100.00	990.57	125.90	0.50	
32	100.00	974.29	114.52	0.50	
9	-1258.07	800.00	0.00	1.00	Depósito
2	158.07	970.00	52.00	1.00	Tanque

Resultados de Línea en 0:00 Hrs:

ID Línea	Caudal GPM	Velocidad fps	Pérd. Unit. ft/Kft	Estado	
10	1258.07	1.59	0.87	Abierto	
12	21.39	0.09	0.01	Abierto	
21	719.95	2.94	5.45	Abierto	
22	228.61	0.65	0.27	Abierto	
31	138.12	1.57	3.08	Abierto	
110	-158.07	0.20	0.02	Abierto	
111	1108.07	4.53	12.11	Abierto	
112	-329.47	0.93	0.53	Abierto	
113	-78.61	0.50	0.27	Abierto	
121	238.12	1.52	2.08	Abierto	
122	-38.12	0.43	0.28	Abierto	
9	1258.07	0.00	-274.71	Abierto	Bomba
1	0.00	0.00	0.00	Cerrado	Válvula

**Figura C.2** Fragmento del Archivo Informe (continúa de la página anterior)

### Sección de Nudos.

La Sección de Nudos del informe de salida es el listado de los resultados de los nudos y parámetros identificados en la sección [REPORT] del archivo de entrada. La lista de resultados se realiza para cada intervalo del informe de la simulación en régimen transitorio. El intervalo de informe se especifica en la sección [TIMES] del archivo de entrada. Los resultados en aquellos momentos intermedios en los que se dan ciertos eventos hidráulicos, tales como que una bomba se apague o se encienda o que un tanque se cierre porque está vacío o lleno, también aparecerán en el informe.

Para tener resultados de nudo en el informe, la sección [REPORT] en el archivo de entrada debe contener el comando **NODES** seguido del listado de las etiquetas ID de los nudos que se quieran incluir en el informe. Esto puede significar algunas líneas **NODES** en el archivo. Para obtener los resultados de todos los nudos utilice el comando **NODES ALL**.

La configuración por defecto de las variables de nudo que aparecen en el informe incluye Demanda, Altura, Presión y Calidad de Agua. Puedes especificar cuantos decimales utilizar en los resultados de un parámetro utilizando comandos tales como **PRESSURE PRECISION 3** en el archivo de entrada (es decir, utiliza 3 decimales para los resultados de presión). La precisión predeterminada es de 2 decimales para todas las variables. Puedes filtrar el informe de forma que la lista sólo incluya los resultados por encima o por debajo de cierto valor utilizando comandos de la forma **PRESSURE BELOW 20** en el archivo de entrada.

## Sección de Líneas

La Sección de Líneas del informe de salida proporciona una lista de los resultados de la simulación para aquellas líneas y parámetros identificados en la sección [REPORT] en el archivo de entrada. Los tiempos de informe siguen el mismo patrón que para los nudos descrito en la sección anterior.

Como con los nudos, para tener cualquier resultado de las líneas en el informe debe incluir el comando **LINKS** seguido de un listado de las etiquetas ID en la sección [REPORT] en el archivo de entrada. Utilice el comando **LINKS ALL** para que en el informe aparezcan los resultados de todas las líneas.

Las variables que aparecen por defecto en el informe para el caso de las líneas son Caudal, Velocidad y Pérdidas. El Diámetro, Longitud, Calidad del Agua, Estado, Tarado, Velocidad de Reacción y Factor de Fricción se pueden añadir utilizando comandos tales como **DIAMETER YES** o **DIAMETER PRECISION 0**. De la misma manera que con los nudos se especificará la precisión de los resultados y el filtrado en el caso de las líneas.

### C.4. Formato Binario del Archivo de Salida.

Si al comando que arranca EPANET le añadimos un tercer nombre de archivo los resultados de todos los parámetros de todos los nudos y líneas para todos los intervalos de informe se guardarán en ése archivo en un formato binario especial. Ésta archivo se puede utilizar para diferentes propósitos de postprocesado. Los datos escritos en el fichero son enteros de 4 bytes, coma flotante de 4 bytes o cadenas de tamaño fijo múltiplo de 4 bytes. Esto permite que el archivo sea convenientemente dividido en registros de 4 bytes. El archivo consiste en cuatro secciones de los siguientes tamaños en bytes:

<i>Sección</i>	<i>Tamaño en bytes</i>
Prólogo (Prolog)	$852 + 20 * N_{\text{nodes}} + 36 * N_{\text{links}} + 8 * N_{\text{tanks}}$
Uso Energético (Energy Use)	$28 * N_{\text{pumps}} + 4$

---

Régimen Transitorio (16\*Nnodes + 32\*Nlinks)\*Nperiods  
(Extended Period)

Epílogo (Epilog) 28

---

donde

Nnodes = número de nudos (conexiones + depósitos + tanques)

Nlinks = número de líneas (tuberías + bombas + válvulas)

Ntanks = número de tanques y depósitos

Npumps = número de bombas

Nperiods = número de intervalos de informe

Y todos estos contadores se escriben ellos mismos en las secciones de Prólogo o Epílogo del archivo.

### Sección Prólogo.

La sección prólogo del Archivo de Salida binario contiene los siguientes datos:

Dato	Tipo	Número de Bytes
Clave (= 516114521)	Entero	4
Versión (= 200)	Entero	4
Número de nudos (conexiones + depósitos + tanques)	Entero	4
Número de Depósitos & Tanques	Entero	4
Número de líneas (tuberías + bombas + válvulas)	Entero	4
Número de Bombas	Entero	4
Número de Válvulas	Entero	4
Opción Calidad del Agua 0 = ninguna 1 = química 2 = edad 3 = seguimiento de fuente	Entero	4
Índice de Nudo para seguimiento de fuente	Entero	4
Opción Unidades de Caudal 0 = cfs 1 = gpm 2 = mgd	Entero	4

<p>3 = mgd británicos  4 = acre-ft/día  5 = litros/segundo  6 = litros/minuto  7 = megalitros/día  8 = metros cúbicos/hora  9 = metros cúbicos/día</p>		
<p>Opción Unidades de Presión  0 = psi  1 = metros  2 = kPa</p>	Entero	4
<p>Característica Estadística  0 = sin procesamiento estadístico  1 = resultado promedio  2 = sólo valor mínimo  3 = sólo valor máximo  4 = sólo rango</p>	Entero	4
Tiempo Inicio Informe (segundos)	Entero	4
Intervalo Tiempo Informe (segundos)	Entero	4
Duración de Simulación (segundos)	Entero	4
Título Problema (1ª línea)	Carácter	80
Título Problema (3ª línea)	Carácter	80
Título Problema (3ª línea)	Carácter	80
Nombre del Archivo Entrada	Carácter	260
Nombre del Archivo Informe	Carácter	260
Nombre del Componente Químico	Carácter	16
Unidades Concentración Componente	Carácter	16
Etiqueta ID de cada Nudo	Carácter	16
Etiqueta ID de cada Línea	Carácter	16
Índice del Nudo Inicio de cada línea	Entero	4*Nlinks
Índice del Nudo Fin de cada Línea	Entero	4*Nlinks
<p>Tipo Código de cada Línea  0 = Tubería con VC  1 = Tubería  2 = Bomba  3 = VRP  4 = VSP  5 = VRC  6 = VCQ</p>	Entero	4*Nlinks

7 = VRG 8 = VPG		
Nudo Índice de cada Tanque	Entero	4*Ntanks
Área Transversal de cada Tanque	Real	4*Ntanks
Altura Geométrica de cada Nudo	Real	4*Nnodes
Longitud de cada Línea	Real	4*Nlinks
Diámetro de cada Línea	Real	4*Nlinks

Existe una correspondencia uno a uno entre el orden en el que se escriben las etiquetas ID de nudos y líneas en el archivo y el número índice de éstos componentes. También, los depósitos se distinguen de los tanques porque su área transversal es cero.

### Sección Uso Energético.

La sección Uso Energético del archivo de salida binario sigue inmediatamente a la sección Prólogo. Contiene los siguientes datos:

Dato	Tipo	Número de Bytes
Repetido para cada bomba:		
▪ Índice de la Bomba en la lista de Líneas	Real	4
▪ Utilización de la Bomba (%)	Real	4
▪ Rendimiento Medio (%)	Real	4
▪ KW/Millones Galones (/Metros <sup>3</sup> ) Medio	Real	4
▪ kW Medio	Real	4
▪ kW en hora punta	Real	4
▪ Coste Medio por Día	Real	4
Uso Total de la Energía en hora punta	Real	4

Las estadísticas aportadas en ésta sección se refieren al intervalo de tiempo entre el inicio del intervalo de informe y el final de la simulación.

### Sección Régimen Transitorio.

La sección Régimen Transitorio del Archivo de Salida binario contiene los resultados de la simulación para cada intervalo de informe del análisis (el tiempo inicio del informe y la duración del intervalo de informe están escritos en la sección Prólogo del Archivo de Salida). Los siguientes valores se guardan en el archivo para cada intervalo del informe:

Dato	Tipo	Tamaño en Bytes
Demanda en cada Nudo	Real	4*Nnodes
Altura Hidráulica en cada Nudo	Real	4*Nnodes
Presión en cada Nudo	Real	4*Nnodes

Calidad del Agua en cada Nudo	Real	4*Nnodes
Caudal en cada Línea (negativo para caudal contrario)	Real	4*Nlinks
Velocidad en cada Línea	Real	4*Nlinks
Pérdidas por 1000 Unidades de Longitud en cada Línea (Negativa al ser ganancia para las bombas y pérdidas totales para las válvulas)	Real	4*Nlinks
Calidad del Agua Media en cada Línea	Real	4*Nlinks
Código Estado para cada Línea 0 = cerrado (carga máx. superada) 1 = temporalmente cerrado 2 = cerrado 3 = abierto 4 = activo (parcialmente abierto) 5 = abierto (caudal máx. superado) 6 = abierto (no se encuentra caudal de tarado) 7 = abierto (no se encuentra presión de tarado)	Real	4*Nlinks
Configuración para cada Línea: Coeficiente de Rugosidad para las Tuberías Velocidad para las Bombas Tarado para las Válvulas	Real	4*Nlinks
Velocidad de reacción para cada Línea (masa/L/día)	Real	4*Nlinks
Factor de Fricción para cada Línea	Real	4*Nlinks

### Sección Epílogo.

La sección Epílogo del Archivo de Salida binario contiene los siguientes datos:

Dato	Tipo	Número de Bytes
Velocidad de reacción media en el Flujo (masa/hora)	Real	4
Velocidad de reacción media en la Pared (masa/hora)	Real	4
Velocidad de reacción media en el Tanque (masa/hora)	Real	4
Velocidad media de caudal entrante en fuente (masa/hora)	Real	4
Número de Intervalo de Informe	Entero	4
Mensajes de Advertencia: 0 = sin advertencias 1 = advertencias donde ocurran	Entero	4
Clave (= 516114521)	Entero	4



Las unidades másicas de las velocidades de reacción tanto aquí como en la sección Régimen Estacionario dependen de las unidades de concentración asignadas al componente químico que se está estudiando. Las velocidades de reacción que aparecen en ésta sección son la media de las velocidades vistas en todas las tuberías (o todos los tanques) a lo largo de todo el intervalo de informe de la simulación.

(Ésta página se ha dejado en blanco intencionadamente.)

## APÉNDICE D – ALGORITMOS DEL ANÁLISIS

### D.1. Hidráulica.

El método utilizado por EPANET para resolver las ecuaciones de continuidad y de pérdidas que caracterizan el estado hidráulico de una red de abastecimiento en un punto dado en el tiempo puede llevarse a término con una aproximación híbrida nudo-malla. Todini y Pilati (1987) y más tarde Salgado et al. (1988) eligieron llamarlo el "Método del Gradiente". Aproximaciones similares han sido descritas por Hamam y Brameller (1971) (el "Método Híbrido") y por Osiadacz (1987) (el "Método nudo-malla de Newton"). La única diferencia entre éstos métodos es la forma en la que el caudal de las líneas es actualizado después de una nueva solución iterada se haya encontrado para las alturas en los nudos. Ya que la aproximación de Todini, la más simple, es la que se ha elegido para utilizar con EPANET.

Suponiendo que tenemos un sistema de tuberías con N conexiones nudo y NF nudos fijos (tanques y depósitos). Nos permitimos expresar la relación pérdidas-caudal en la tubería entre los nudos i y j de la siguiente forma:

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad \text{D.1}$$

donde  $H$  = altura en nudo,  $h$  = pérdidas,  $r$  = coeficiente de resistencia,  $Q$  = caudal,  $n$  = exponente del caudal, y  $m$  = coeficiente de pérdidas menores. El valor del coeficiente de pérdidas dependerá de la ecuación de pérdidas utilizada (ver abajo). Para las bombas, las pérdidas (negativa al ser ganancia) pueden representarse con la siguiente ley

$$h_{ij} = -\omega^2 (h_0 - r (Q_{ij} / \omega)^n)$$

donde  $h_0$  es la altura de corte para la bomba,  $\omega$  es la velocidad relativa, y  $r$  y  $n$  son los coeficientes de la curva característica. El segundo conjunto de ecuaciones que debemos satisfacer son las ecuaciones de continuidad para 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 la demanda de caudal en el nudo i y por convenio, el caudal entrante en un nudo es positivo. Para un conjunto de alturas conocidas en los nudos fijos, buscaremos una solución para todas las alturas  $H_i$  y caudales  $Q_{ij}$  que satisfagan las ecuaciones (D.1) y (D.2).

La resolución del método del Gradiente comienza con un valor estimado inicial de caudales en cada tubería que no tiene porqué satisfacer las

ecuaciones de continuidad. En cada iteración del método, se encontrarán nuevas alturas en los nudos resolviendo la ecuación matricial:

$$\mathbf{AH} = \mathbf{F} \quad \text{D.3}$$

donde  $\mathbf{A}$  = matriz Jacobiana (NxN),  $\mathbf{H}$  = vector de las alturas incógnita en los nudos (Nx1), y  $\mathbf{F}$  = vector de los términos del lado derecho de la igualdad (Nx1).

Los elementos de la diagonal principal de la matriz Jacobiana son:

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij}$$

mientras que los términos fuera de la diagonal, no negativos, son:

$$A_{ij} = -p_{ij}$$

donde  $p_{ij}$  es la inversa de la derivada parcial con respecto del caudal de las pérdidas en la línea entre los nudos  $i$  y  $j$ . Para las tuberías,

$$p_{ij} = \frac{1}{nr|Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|}$$

mientras que para las bombas

$$p_{ij} = \frac{1}{n\omega^2 r(Q_{ij}/\omega)^{n-1}}$$

Cada término del lado derecho de la igualdad consiste en el desequilibrio del caudal neto en el nudo más un factor de corrección de caudal:

$$F_i = \left( \sum_j Q_{ij} - D_i \right) + \sum_j y_{ij} + \sum_f p_{if} H_f$$

donde los últimos términos los aplicamos a cualquier línea que une un nudo  $i$  a un nudo fijo y el factor de corrección de caudal  $y_{ij}$  es:

$$y_{ij} = p_{ij} \left( r|Q_{ij}|^n + m|Q_{ij}|^2 \right) \text{sgn}(Q_{ij})$$

para tuberías

$$y_{ij} = -p_{ij} \omega^2 \left( h_0 - r(Q_{ij}/\omega)^n \right)$$

y para bombas, donde el  $\text{sgn}(x)$  es 1 si  $x > 0$  y -1 en caso contrario. ( $Q_{ij}$  siempre es positivo para las bombas.)

Después de que las nuevas alturas son calculadas resolviendo la ecuación (D.3), los nuevos caudales se encuentran con:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - (y_{ij} - p_{ij}(H_i - H_j)) \quad \text{D.4}$$

Si la diferencia entre la suma de los caudales absolutos y el caudal total en todas las líneas es mayor que alguna tolerancia (por ejemplo, 0.001), entonces las ecuaciones (D.3) y (D.4) se resuelven una vez más. La ecuación de actualización de caudal (D.4) siempre cumple con la continuidad alrededor de cada nudo después de la primera iteración.

EPANET implementa éste método utilizando los siguientes pasos:

1. El sistema lineal de ecuaciones D.3 se resuelve utilizando un método de matrices dispersas basado en la reordenación de los nudos (George y Liu, 1981). Después de la reordenación de nudos para minimizar la cantidad de celdas no nulas de la matriz A, se lleva a cabo una factorización simbólica así que sólo los elementos no nulos de A necesitan ser calculados y guardados en memoria. Para simulación en régimen transitorio ésta reordenación y factorización tan sólo se lleva a cabo una vez al inicio del análisis.
2. Para la primera iteración, el caudal en la tubería elegido es igual al caudal correspondiente a una velocidad de 1 ft/seg, mientras que el caudal a través de una bomba es igual al caudal de diseño especificado para la bomba. (Todos los cálculos se hacen con la altura en pies y el caudal en cfs).
3. El coeficiente de resistencia de una tubería ( $r$ ) es calculado tal y como se describe en la Tabla 3.1. Para la ecuación de pérdidas de Darcy-Weisbach, el factor de fricción  $f$  es calculado con diferentes ecuaciones dependiendo del número de Reynolds (Re) para el caudal:

Ecuación de Hagen – Poiseuille para  $Re < 2,000$  (Bhave, 1991):

$$f = \frac{64}{Re}$$

Aproximación de Swamee y Jain a la ecuación de Colebrook - White para  $Re > 4,000$  (Bhave, 1991):

$$f = \frac{0.25}{\left[ \ln \left( \frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Interpolación cúbica del ábaco de Moody para  $2,000 < Re < 4,000$  (Dunlop, 1991):

$$f = (X1 + R(X2 + R(X3 + X4)))$$

$$R = \frac{Re}{2000}$$

$$X1 = 7FA - FB$$

$$X2 = 0.128 - 17FA + 2.5FB$$

$$X3 = -0.128 + 13FA - 2FB$$

$$X4 = R(0.032 - 3FA + 0.5FB)$$

$$FA = (Y3)^{-2}$$

$$FB = FA \left( 2 - \frac{0.00514215}{(Y2)(Y3)} \right)$$

$$Y2 = \frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}$$

$$Y3 = -0.86859 \ln \left( \frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{4000^{0.9}} \right)$$

donde  $\varepsilon$  = rugosidad de la tubería y  $d$  = diámetro de la tubería.

4. El coeficiente de pérdidas menores basado en la altura dinámica ( $K$ ) se convierte en uno basado en el caudal ( $m$ ) con la siguiente relación:

$$m = \frac{0.02517K}{d^4}$$

5. Los emisores son modelados como tuberías ficticias entre la conexión y el depósito ficticio. Los parámetros de pérdidas en la tubería son  $n = (1/\gamma)$ ,  $r = (1/C)^n$ , y  $m = 0$  donde  $C$  es el coeficiente de descarga del emisor y  $\gamma$  es el exponente de su presión. La altura en el depósito ficticio es la cota de la conexión. El caudal calculado a través de la tubería ficticia se convierte en el caudal asociado en el emisor.
6. Las válvulas abiertas son asignadas como un valor de  $r$  suponiendo que el hecho de que están abiertas las convierte en tuberías uniformes ( $f = 0.02$ ) cuya longitud es dos veces el diámetro de la válvula. Las líneas cerradas se suponen que obedecen a una relación de pérdidas lineal con un factor de resistencia muy grande, es decir,  $h = 10^8 Q$ , así que  $p = 10^{-8}$  y  $y = Q$ . Para líneas donde  $(r+m)Q < 10^{-7}$ ,  $p = 10^7$  y  $y = Q/n$ .

7. La comprobación del estado de bombas, válvulas de control (VCs), válvulas controladoras de caudal, y tuberías conectadas a tanques llenos o vacíos se hace después de cada iteración, hasta la 10ª iteración. Después de esto, el control del estado se realiza sólo después de que se haya logrado la convergencia. El control del estado en las válvulas controladoras de presión (VRPs y VSPs) se hace después de cada iteración.
  
8. Durante los controles del estado, las bombas son cerradas si la ganancia es mayor que la altura de corte de la bomba (para prevenir caudal inverso). De forma similar, las válvulas se cierran si las pérdidas a través de ellas son negativas (ver debajo). Cuando éstas condiciones no se presentan, las líneas se abren de nuevo. Un método de control de estado similar se realiza para las líneas que están conectados a tanques llenos o vacíos. Así pues, las líneas se cierran si la diferencia de altura a través de la línea podría causar un tanque vacío para suministrar o un tanque lleno para llenar. Se reabrirán en el siguiente control de estado si éstas situaciones no se mantienen.
  
9. Simplemente se controla si  $h < 0$  para determinar si una válvula que podría cerrarse o abrirse ha encontrado una recurrencia cíclica entre éstos dos estados, en algunos sistemas debido a los límites de la precisión numérica. El siguiente procedimiento fue ideado para proporcionar un control de estado más robusto Para las válvulas de control (VC):

```

if  $|h| > H_{tol}$  then
    if  $h < -H_{tol}$            then  status = CLOSED
    if  $Q < -Q_{tol}$          then  status = CLOSED
    else                       status = OPEN
else
    if  $Q < -Q_{tol}$          then  status = CLOSED
    else                       status = unchanged

```

donde  $H_{tol} = 0.0005$  ft y  $Q_{tol} = 0.001$  cfs.

10. Si el control de estado cierra un abomba abierta, una tubería, o una CV, su caudal pasa a ser de  $10^{-6}$  cfs. Si una bomba es reabierta, su caudal es calculado aplicando la ganancia de altura actual en su curva característica. Si una tubería o CV es reabierta, su caudal se determina resolviendo la ecuación

(D.1) para  $Q$  bajo las pérdidas  $h$ , ignorando cualquier pérdida menor.

11. Los coeficientes matriciales para las válvulas de rotura de carga (VRCs) son configurados de la siguiente forma:  $p = 10^8$  y  $y = 10^8 H_{set}$ , donde  $H_{set}$  es la caída de presión para la válvula (en pies). Las válvulas reguladoras por estrangulación (VRGs) son tratadas como tuberías con  $r$  como se describe en el punto 6 y  $m$  toma un valor relacionado con el tarado de la misma (ver punto 4).
12. Los coeficientes matriciales de las válvulas reductoras de presión, sostenedores de presión, y controladoras de caudal (VRPs, VSPs, y VCQs) son calculados después de que todas las demás líneas hayan sido analizadas. El control de estado para las VRPs y las VSPs se hace tal y como se comenta en el punto 7. Éstas válvulas pueden estar completamente abiertas, completamente cerradas o activas a su presión o caudal de tarado.
13. La lógica utilizada para el control de estado de una VRP es como sigue:

```

Si el estado actual = ACTIVE entonces
  if  $Q < -Q_{tol}$  entonces el nuevo estado = CLOSED
  if  $H_i < H_{set} + H_{ml} - H_{tol}$  entonces el nuevo estado = OPEN si no el nuevo estado = ACTIVE
Si el estado actual = OPEN entonces
  if  $Q < -Q_{tol}$  entonces el nuevo estado = CLOSED
  if  $H_i > H_{set} + H_{ml} + H_{tol}$  entonces el nuevo estado = ACTIVE si no el nuevo estado = OPEN

Si el estado actual = CLOSED entonces
  if  $H_i > H_j + H_{tol}$ 
  and  $H_i < H_{set} - H_{tol}$  entonces el nuevo estado = OPEN
  if  $H_i > H_j + H_{tol}$  and  $H_j < H_{set} - H_{tol}$  entonces el nuevo estado = ACTIVE si no el nuevo estado = CLOSED
  
```

donde  $Q$  es el caudal actual a través de la válvula,  $H_i$  su altura aguas arriba,  $H_j$  es su altura aguas abajo,  $H_{set}$  es su presión de tarado convertida en altura,  $H_{ml}$  son las pérdidas menores cuando la válvula está abierta ( $= mQ^2$ ), y  $H_{tol}$  y  $Q_{tol}$  son los mismos valores utilizados para las válvulas de control en el punto 9. Un conjunto similar de pruebas se utilizan para las VSPs, excepto que cuando trabajamos con  $H_{set}$ , los subíndices  $i$  y  $j$  se intercambian al igual que los operadores  $>$  y  $<$ .

14. El caudal a través de una VRP activa es mantenido para forzar la continuidad en su nudo aguas abajo mientras que el



caudal que atraviesa una VSP hace lo mismo en su nudo aguas arriba. Para una VRP activa desde el nudo  $i$  al  $j$ :

$$p_{ij} = 0$$

$$F_j = F_j + 10^8 H_{set}$$

$$A_{jj} = A_{jj} + 10^8$$

Esto fuerza la altura en el nudo aguas abajo para ser la de tarado de la válvula  $H_{set}$ . Una asignación equivalente de coeficientes se hace para una VSP activa excepto que la suscripción para  $F$  y  $A$  es el nudo aguas arriba  $i$ . Los coeficientes para las VRPs y VSPs abiertas/cerradas son dados de la misma forma que para las tuberías.

15. Para una VCQ activa desde el nudo  $i$  al  $j$  con tarado  $Q_{set}$ ,  $Q_{set}$  es añadido al caudal que deja el nudo  $i$  y entra en el nudo  $j$ ,  $u$  es sustraído desde  $F_i$  y añadido a  $F_j$ . Si la altura en el nudo  $i$  es menor que la del nudo  $j$ , entonces la válvula no puede entregar el caudal y es considerada como una tubería abierta.
16. Después de que la convergencia inicial es encontrada (caudal converge y no hay cambios de estado en VRPs ni VSPs), se realiza otro control de estado en bombas, VCs, VCQs, y de líneas a tanques. También, el estado de las líneas controladas por una variable de presión (es decir, una bomba controlada por la presión en el nudo conexión) es controlado. Si se da cualquier cambio de estado, las iteraciones deben continuar al menos hasta dos o más (es decir, a el control de convergencia es pasado por alto en la iteración inmediata). En caso contrario, una solución final ha sido obtenida.
17. Para simulación en régimen transitorio, se implementa el siguiente procedimiento:
  - a. Después de que una solución es encontrada en el actual intervalo de tiempo, el intervalo de tiempo para la siguiente solución es el mínimo de:
    - tiempo hasta que un nuevo intervalo de demandas empiece,
    - el menor tiempo para que un tanque se llene o se vacíe,
    - el menor tiempo hasta que el nivel de un tanque alcance el punto que provoca un cambio de estado en alguna línea (es decir, abre o cierra una bomba) como se estipula en un control simple,

- el siguiente momento hasta que un control simple de tiempo en una línea se active,
- el siguiente momento al cual un control programado causa un cambio de estado en algún lugar del sistema.

En el cálculo de tiempos basados en consignas de nivel de los tanques, se supone que el último cambia de forma lineal basándose en la solución actual del caudal. El momento de activación de los controles programados se calcula como sigue:

- Empezando en el momento actual, los controles programados son evaluados en un determinado tiempo especificado. Por defecto es 1/10 del intervalo de tiempo hidráulico (es decir, si los parámetros hidráulicos se actualizan cada hora, entonces los controles se evalúan cada 6 minutos).
  - En estos momentos, se actualiza la hora del reloj, así como el nivel de agua en los depósitos de almacenamiento (basándose en el último cálculo de los caudales de las tuberías).
  - Si la condición de un control es satisfecha, entonces sus acciones se añaden a la lista. Si una acción entra en conflicto con otra para una línea en la misma lista, entonces el control con mayor prioridad permanece y el otro se elimina de la lista. Si las prioridades son iguales entonces la acción inicial permanecerá en la lista.
  - Después de que todos los controles son evaluados, si la lista no está vacía las nuevas acciones se llevan a cabo. Si esto causa que el estado de una o más líneas cambie entonces se calculará una nueva solución hidráulica y el proceso comenzará de nuevo.
  - Si ningún estado cambia, la lista de acción se cambia y el siguiente periodo de control comienza a manos que el intervalo de tiempo hidráulico haya transcurrido.
- b. El tiempo avanza al siguiente intervalo de cálculo, se encuentran nuevas demandas, los niveles de los tanques se ajustan en función de la solución actual de caudales, y los controles de líneas se revisan para determinar que líneas cambian de estado.

- c. Empiezan un nuevo conjunto de iteraciones con las ecuaciones (D.3) y (D.4) y el conjunto de caudales actuales.

## D.2. Calidad del Agua.

Las ecuaciones que gobiernan la resolución de la calidad del agua en EPANET están basadas en el principio de la conservación de la masa y las reacciones cinéticas. Se representan los siguientes fenómenos: (Rossman et al., 1993; Rossman y Boulos, 1996):

### Transporte Advectivo en Tuberías

Una sustancia disuelta viajará a lo largo de la longitud de la tubería con la misma velocidad a la que la lleve el fluido mientras que al mismo tiempo reacciona (ya sea creciendo o desapareciendo) a una velocidad dada. La dispersión longitudinal no es normalmente un mecanismo de transporte importante bajo la mayoría de las condiciones de operación. Esto significa que no existe intercambio de masa entre las porciones de agua adyacentes que recorren la tubería. El transporte advectivo en la tubería se representa con la siguiente 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  $i$  en función de la distancia  $x$  y el tiempo  $t$ ,  $u_i$  = velocidad del flujo (longitud/tiempo) en la tubería  $i$ , y  $r$  = velocidad de reacción (masa/volumen/tiempo) en función de la concentración.

### Mezcla en las Conexiones de las Tuberías.

En las conexiones que reciben caudal entrante de dos o más tuberías, tiene lugar la mezcla del fluido de forma completa e instantánea. Así pues, la concentración de una sustancia en el agua que deja la conexión es simplemente la suma ponderada de las concentraciones en función de los caudales entrantes de las tuberías. Para un nudo específico  $k$  se puede escribir:

$$C_{i|x=0} = \frac{\sum_{j \in I_k} Q_j C_{j|x=L_j} + Q_{k,ext} C_{k,ext}}{\sum_{j \in I_k} Q_j + Q_{k,ext}} \quad \text{D.6}$$

donde  $i$  = línea con el caudal que deja el nudo  $k$ ,  $I_k$  = conjunto de líneas cuyo caudal entra en  $k$ ,  $L_j$  = longitud de la línea  $j$ ,  $Q_j$  = caudal (volumen/tiempo) en la línea  $j$ ,  $Q_{k,ext}$  = fuente externa de caudal entrante en la red por el nudo  $k$ , y  $C_{k,ext}$  = concentración del caudal externo entrante en

el nudo k. La notación  $C_{i|x=0}$  representa la concentración en el inicio de la línea i, mientras que  $C_{i|x=L}$  es la concentración al final de la línea.

### Mezcla en Dispositivos de Almacenaje.

Es conveniente suponer que los contenidos de los dispositivos de almacenaje (depósitos y tanques) están completamente mezclados. Ésta es una suposición razonable para muchos tanques que operan bajo condiciones de llenado y vaciado siempre que se suministre el flujo instantáneo necesario en el aporte (Rossman y Grayman, 1999). Bajo condiciones de mezclado completo la concentración en todo el tanque es una mezcla de los contenidos actuales y la del agua entrante. Al mismo tiempo, la concentración interna podría cambiar debido a las reacciones. La siguiente ecuación representa éste fenómeno:

$$\frac{\partial(V_s C_s)}{\partial t} = \sum_{i \in I_s} Q_i C_{i|x=L_i} - \sum_{j \in O_s} Q_j C_s + r(C_s) \quad D.7$$

donde  $V_s$  = volumen almacenado en el tiempo t,  $C_s$  = concentración dentro del dispositivo de almacenamiento,  $I_s$  = conjunto de líneas que aportan caudal al dispositivo, y  $O_s$  = conjunto de líneas que extraen el caudal del dispositivo.

### Reacciones en el Seno del Flujo.

Mientras una sustancia se mueve por un tubería o se encuentra en un dispositivo de almacenaje puede experimentar reacciones con los constituyentes del agua. La velocidad de reacción puede expresarse generalmente en función de una determinada potencia de la concentración:

$$r = kC^n$$

donde  $k$  = constante de la reacción y  $n$  = orden de la reacción. Cuando existe una limitación de concentración al final del crecimiento o disminución de la sustancia la expresión de la velocidad de reacción es

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

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

donde  $C_L$  = concentración límite.

Algunos ejemplos de diferentes expresiones de la velocidad de reacción son:

- *Disminución de Primer Orden* ( $C_L = 0, K_b < 0, n = 1$ )

$$R = K_b C$$

La desaparición de muchísimas sustancias, tales como el cloro, pueden ser modelizadas adecuadamente con una ecuación de primer orden.

- *Crecimiento de Saturación de Primer Orden* ( $C_L > 0$ ,  $K_b > 0$ ,  $n = 1$ ):

$$R = K_b(C_L - C)$$

Éste modelo se puede aplicar a la desinfección por subproductos, tales como los trihalometanos, donde la última producción de subproductos ( $C_L$ ) está limitada por la cantidad del reactivo precursor presente.

- *Dos Componentes, Disminución de Segundo Orden* ( $C_L \neq 0$ ,  $K_b < 0$ ,  $n = 2$ ):

$$R = K_b C(C - C_L)$$

Éste modelo supone que la sustancia A reacciona con la sustancia B según una relación desconocida dando lugar al producto P. La velocidad de desaparición de A es proporcional al producto A y B que queda.  $C_L$  puede ser tanto negativo como positivo, dependiendo de qué componente A o B se encuentra en exceso, respectivamente. Clark (1998) ha tenido éxito en la aplicación de éste modelo a los datos de desaparición del cloro que no han podido ser explicados con la ecuación de primer orden.

- *Cinética de Desaparición de Michaelis-Menton* ( $C_L > 0$ ,  $K_b < 0$ ,  $n < 0$ ):

$$R = \frac{K_b C}{C_L - C}$$

Como un caso especial, cuando una reacción negativa de orden  $n$  es especificada, EPANET utilizará la ecuación de velocidad de Michaelis-Menton, mostrada anteriormente para la reacción de desaparición. (Para la reacción de crecimiento el denominador pasa a ser  $C_L + C$ .) La ecuación de velocidad es a menudo utilizada para describir reacciones catalizadas por enzimas y crecimiento microbiano. Produce comportamientos de primer orden para bajas concentraciones y de orden cero para altas concentraciones. Fíjese que para las reacciones de desaparición,  $C_L$  debe ser más alto que la concentración inicial presente.

Koehling (1998) ha aplicado la ecuación de Michaelis-Menton para modelizar la desaparición del cloro en varias aguas diferentes y encontró que tanto  $K_b$  como  $C_L$  podían ser

relacionadas con el contenido orgánico del agua y con su absorción ultravioleta tal y como sigue:

$$K_b = -0.32UVA^{1.365} \frac{(100UVA)}{DOC}$$

$$C_L = 4.98UVA - 1.91DOC$$

donde UVA = absorción ultravioleta a 254 nm (1/cm) y DOC = concentración de carbono orgánico disuelto (mg/L).

**Nota: Estas expresiones se aplican sólo para valores de  $K_b$  y  $C_L$  utilizados en las ecuaciones de Michaelis-Menton.**

- *Crecimiento de Orden Cero* ( $C_L = 0$ ,  $K_b = 1$ ,  $n = 0$ )

$$R = 1.0$$

Este caso especial puede ser utilizado para modelizar la edad del agua, donde con cada unidad de tiempo la “concentración” (es decir, edad) se incrementa en una unidad.

La relación entre la velocidad constante del flujo vista a una determinada temperatura (T1) y de ésta a otra temperatura (T2) es a menudo expresada utilizando la ecuación de van't Hoff - Arrhenius de la forma:

$$K_{b2} = K_{b1} \theta^{T2-T1}$$

donde  $\theta$  es una constante. En una investigación para el cloro,  $\theta$  fue estimado en 1.1 cuando T1 era 20 °C (Koechling, 1998).

## Reacciones en la Pared de la Tubería.

Mientras el caudal atraviesa las tuberías, sustancias disueltas pueden ser transportadas a la pared de la tubería y reaccionar con el material, tales como los productos de corrosión o biopelícula que está en o sobre la pared. La cantidad de área de pared disponible para la reacción y la velocidad de la transferencia de masa entre el seno del flujo y la pared también influyen a la velocidad final de ésta reacción. La superficie de área por unidad de volumen, la cual para un tubería es igual a 2 dividido por el radio, determina el factor de forma. El último factor puede ser representado por el coeficiente de transferencia de masa cuyo valor depende de la difusividad molecular de las especies reactivas y del número de Reynolds del flujo (Rossman et. al, 1994). Para la cinética de primer orden, la velocidad de la reacción en la pared de la tubería puede ser expresada como:

$$r = \frac{2k_w k_f C}{R(k_w + k_f)}$$

donde  $k_w$  = constante de la velocidad de reacción en la pared (longitud/tiempo),  $k_f$  = coeficiente de transferencia de masa (longitud/tiempo), y  $R$  = radio de la tubería. Para cinética de orden cero la velocidad de reacción no puede ser mayor que la velocidad de transferencia de masa, así que

$$r = \text{MIN}(k_w, k_f C)(2/R)$$

donde  $k_w$  se conoce en unidades de masa/área/tiempo.

El coeficiente de transferencia de masa se expresa normalmente en función de un número adimensional de Sherwood ( $Sh$ ):

$$k_f = Sh \frac{D}{d}$$

en el cual  $D$  = difusividad molecular de las especies que son transportadas (longitud<sup>2</sup>/tiempo) y  $d$  = diámetro de la tubería. En el caso de flujo laminar, el número de Sherwood a lo largo de la longitud de la tubería puede ser expresado como

$$Sh = 3.65 + \frac{0.0668(d/L) Re Sc}{1 + 0.04[(d/L) Re Sc]^{2/3}}$$

en el cual  $Re$  = número de Reynolds y  $Sc$  = número de Schmidt (viscosidad cinemática del agua dividido por la difusividad del componente químico) (Edwards et.al, 1976). Para flujo turbulento puede utilizarse la correlación empírica de Notter y Sleicher (1971):

$$Sh = 0.0149 Re^{0.88} Sc^{1/3}$$

### Sistema de Ecuaciones.

Cuando se aplican a un sistema como un todo, las ecuaciones D.5-D.7 representan un conjunto de ecuaciones diferenciales/algebraicas con coeficientes de variación temporal que deberían ser resueltas para  $C_i$  en cada tubería  $i$  y  $C_s$  en cada dispositivo de almacenamiento  $s$ . Ésta solución está sujeta al siguiente conjunto de condiciones externas impuestas:

- Condiciones iniciales que especifican  $C_i$  para todo  $x$  en cada tubería  $i$  y  $C_s$  en cada dispositivo de almacenamiento  $s$  en instante 0,
- Condiciones de frontera que especifican valores para  $C_{k,ext}$  y  $Q_{k,ext}$  para todo tiempo  $t$  en cada nudo  $k$  con entradas de masa externa

- Condiciones hidráulicas que especifican el volumen  $V_s$  en cada dispositivo de almacenamiento  $s$  y el caudal  $Q_i$  en cada línea  $i$  en todos los instantes de tiempo  $t$ .

### Algoritmo Lagrangiano del Transporte.

El simulador de la calidad del agua de EPANET utiliza una aproximación temporal lagrangiana para seguir el destino de las porciones de agua, como se mueven a lo largo de las tuberías y como se mezclan juntas en conexiones en intervalos de longitud fija (Liou y Kroon, 1987). Estos intervalos de calidad del agua son típicamente más cortos que el intervalo hidráulico (es decir, minutos antes que horas) para acomodar los tiempos cortos de viaje que pueden ocurrir en las tuberías. A medida que pasa el tiempo, el tamaño de la mayoría de los segmentos aguas arriba en una tubería se incrementan en función del agua que entra en la tubería mientras que una pérdida igual en tamaño se produce en los segmentos aguas abajo a medida que el agua deja la línea. El tamaño de los segmentos entre estos permanece sin alterar. (Ver Figura D.1).

Los siguientes pasos ocurren al final de cada intervalo de tiempo:

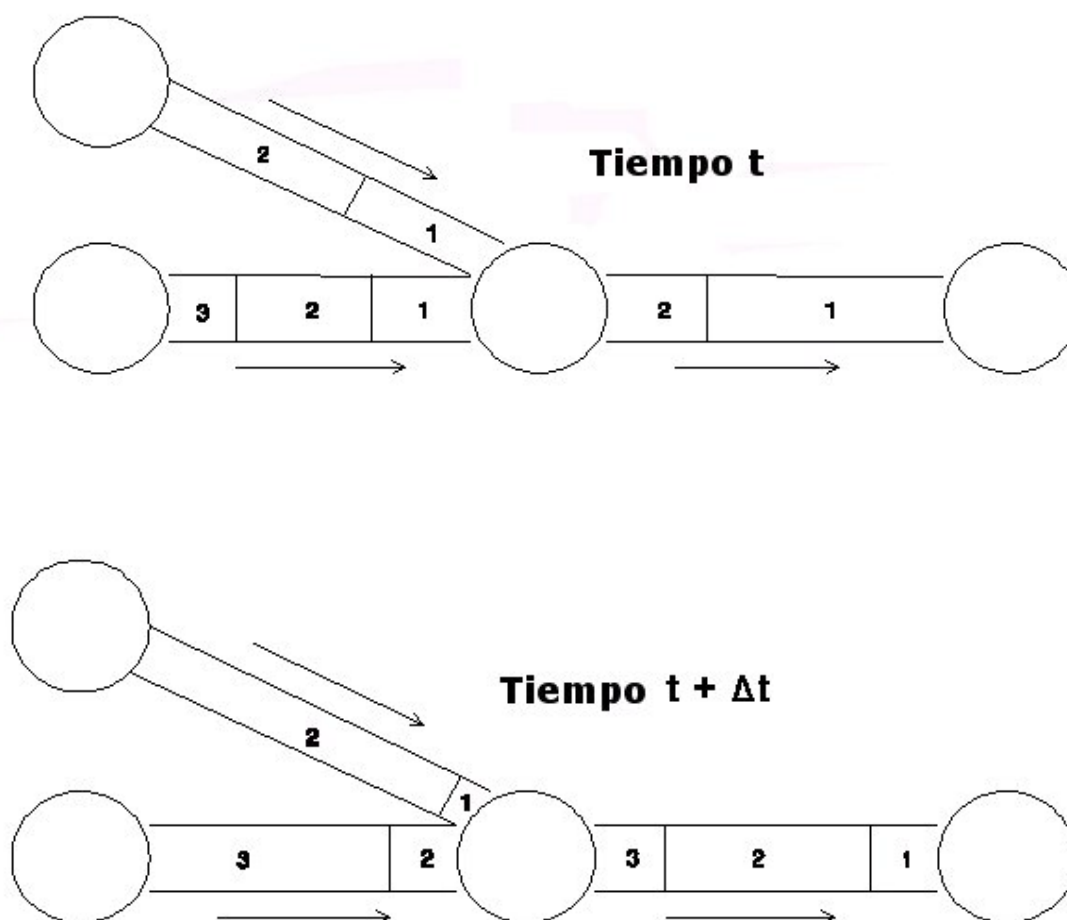
1. La calidad del agua en cada segmento es actualizada para reflejar cualquier reacción que pueda haber ocurrido en el intervalo de tiempo.
2. El agua de los segmentos delanteros de las tuberías con caudal dentro de cada conexión es mezclada junta para calcular un nuevo valor de la calidad del agua en la conexión. El volumen con el que contribuye cada segmento es igual al producto del caudal de su tubería y el intervalo de tiempo. Si éste volumen excede el del segmento entonces el segmento es destruido y el siguiente en la línea detrás de él empieza a contribuir con su volumen.
3. Las contribuciones desde fuentes externas son añadidas a los valores de calidad en las conexiones. La calidad en tanques de almacenamiento se actualiza dependiendo del método utilizado para modelizar el mezclado en el tanque (ver abajo).
4. Nuevos segmentos son creados en las tuberías con caudal procedente de cada conexión, depósito y tanque. El volumen del segmento es igual al producto del caudal de la tubería y el intervalo de tiempo. La calidad del agua del segmento es igual al nuevo valor de la calidad calculado para el nudo.

Para reducir el número de segmentos, el Paso 4 sólo se lleva a cabo si la nueva calidad del nudo difiere según una tolerancia específica de la del último segmento de caudal saliente a tubería. Si la diferencia de calidad está



por debajo de la tolerancia entonces el tamaño del último segmento de caudal saliente simplemente se incrementa con el volumen de caudal en la tubería en el intervalo de tiempo.

Este proceso es entonces repetido para el siguiente intervalo de tiempo de calidad del agua. Al inicio del siguiente intervalo de tiempo hidráulico el orden de los segmentos en cualquier línea que experimente una inversión de caudal es conmutado. Inicialmente cada tubería del sistema consiste en un único segmento cuya calidad es igual a la calidad asignada al nudo aguas arriba.



**Figura D.1** Comportamiento de los Segmentos según el Método 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. & Liu, J. W-H. 1981. *Computer Solution of Large Sparse Positive Definite Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Hamam, Y.M, & Brameller, A. 1971. "Hybrid method for the solution of piping networks", *Proc. IEE*, Vol. 113, No. 11, pp. 1607-1612.
- Koechling, 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. and Kroon, J.R. 1987. "Modeling the propagation of waterborne substances in distribution networks", *J. AWWA*, 79(11), 54-58.
- Notter, R.H. and 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.
- Rossmann, L.A., Boulos, P.F., and Altman, T. (1993). "Discrete volume-element method for network water-quality models", *J. Water Resour. Plng. and Mgmt.*, Vol. 119, No. 5, 505-517.
- Rossmann, L.A., Clark, R.M., and Grayman, W.M. (1994). "Modeling chlorine residuals in drinking-water distribution systems", *Jour. Env. Eng.*, Vol. 120, No. 4, 803-820.
- Rossmann, L.A. and 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.
- Rossmann, L.A. and 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. & 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.