GESTAR 2010 MANUAL DE USUARIO

Aplicación para la Ingeniería Hidráulica y Energética de Redes de Riego a Presión



Escuela Politécnica Superior de Huesca Universidad de Zaragoza Carretera Zaragoza s/n. 22071-Huesca

> E-mail: info@gestarcad.com Web: <u>www.gestarcad.com</u>

Revisión 18 marzo 2010

<u>ÍNDICE</u>

<u>1</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	9
<u>2</u>	INSTALACIÓN	13
21	RECURSOS MÍNIMOS	13
2.1	MODOS DE EJECUCIÓN	13
2.3	PROCESO DE INSTALACIÓN GENERAL. REGISTRO PREM	11UM16
<u>3</u>	REVISIÓN DE FUNCIONALIDADES	21
3.1	ENTORNO GRÁFICO	21
3.2	DIMENSIONADO ÓPTIMO REDES RAMIFICADAS	23
3.3	ANÁLISIS HIDRÁULICO/ENERGÉTICO	26
3.4	OPTIMIZACIÓN ESTACIONES BOMBEO Y EVALUACIÓN	COSTE
ENER	RGETICO	39
3.5	DISENO EN PARCELA	44
3.6	BASES DE DATOS	45
3.7	COMUNICACIONES	40
<u>4</u>	PROTOCOLO DE EXPLOTACIÓN	49
<u>5</u>	BARRA DE HERRAMIENTAS	51
5.1	ÍNDICE DE ICONOS	51
5.2	FUNCIONAMIENTO DE LOS ICONOS	54
	NUEVA RED (CTRL + N)	54
	ABRIR RED (CTRL + O)	56
	GUARDAR RED (CTRL + S)	57
	IMPORTAR/EXPORTAR RED AUTOCAD	57
		58
	CORTAR (CTRL + X)	59
	[] COPIAR (CTRL + C)	59
	PEGAR (CTRL + V)	59
	DESHACER	60
	REHACER	60

2

	#	
	Ð,	
	Q,	
	M	
	0	
	0	
	=	
	×	
	200	
	6.**	
	6 E	
	હિ	
	1.	
	A	
	×	
	4	
	E.	
	P	
TIP	OS DE	N
	٠	
	¥	
	0	

5.2.1

BUSCAR NODO/ELEMENTO (CTRL + F)	60
AUMENTAR	61
DISMINUIR	61
DIMENSIONADO DE LA RED	61
ESCENARIOS ALEATORIOS	66
EVOLUCIÓN TEMPORAL	69
CALCULAR	71
EDITAR LEYENDA DE COLORES (CTRL + L)	71
ELIMINAR RESULTADOS	72
RESULTADOS	73
GRÁFICOS	75
ALARMAS	76
VER VALORES EN NODOS (F7)	76
VER VALORES EN ELEMENTOS (F8)	76
SELECCIONAR	77
SELECCIÓN RECTANGULAR	77
SELECCIÓN IRREGULAR	79
COMENTARIOS	79
ELIMINAR NODO/ELEMENTO	80
PARTIR TUBERÍA	80
ABRIR/CERRAR HIDRANTES	81
RESTRICCIONES DE ESCENARIOS ALEATORIOS	81
NODOS	81
NODO DE UNIÓN	83
NODO EMBALSE	84
NODO BALSA	84
NODO DE PRESIÓN CONOCIDA	86
NODO DE CONSUMO CONOCIDO	87

	220	
	NODO HIDRANTE REGULADOR	91
	NODO DE DOBLE CONDICIÓN	93
		0/
		94
	NODO EMISOR	95
5.2.2	TIPOS DE ELEMENTOS	98
	ELEMENTO TUBERÍA	99
	ELEMENTO LÍNEA DE EMISORES	112
	ELEMENTO BOMBA	116
	ELEMENTO VÁLVULA REGULADORA	121
	ELEMENTO LIBRE	125
		107
	URUPOS TUBERIAS LIDRES	127
6	MENÚS DE PROGRAMA	129
_		
6.1	MENÚ <i>ARCHIVO</i>	131
6.2	MENÚ EDICIÓN	137
6.3	MENÚ VER	138
6.4	MENÚ OPCIONES	143
6.5	MENÚ <i>DIMENSIONAR</i>	151
6.6	MENU CALCULOS	156
6.7	MENU RESULTADOS	168
6.8	MENUALARMAS	169
6.9	MENU REGULACION BOMBEO	175
6.10	MENU AYUDA	179
<u>7</u>	EDICIÓN DE MODELO	181
7.1	INTRODUCCIÓN	181
7.2	GENERACION MEDIANTE ENTORNO GRAFICO	183
7.3	ABRIR DIGITALIZACION	185
7.4	COMUNICACION CON BASES DE DATOS ACCESS	188
7.4.1	EXPORTAR LA RED A BASE DE DATOS ACCESS	190
7.4.2 7.4.2	EDITAK LA BASE DE DATOS ACCESS	190
7.4.3 75	IMPORTAR LA RED DESDE UNA BASE DE DATOS ACCESS	194
751		195
7.5.1		195 199
753	FXPORTAR RED A AUTOCAD	205
7.6	UNIR REDES	205
7.7	SALIDA DE RESULTADOS	200
7.7.1	CODIFICACIÓN POR COLORES	212
7.7.2	TABLA DE VALORES NUMÉRICOS	215
7.7.3	FICHERO ASCII DE VALORES NUMÉRICOS	220
7.7.4	VISUALIZACIÓN DE VALORES NUMÉRICOS	220
7.7.5	LISTADO EMERGENTE DE VALORES NUMÉRICOS	221
7.7.6	RESULTADOS EN FORMATO EXCEL	222

<u>8</u>	DIMENSIONADO DE REDES COLECTIVAS RAMIFICADAS	229
81	CENERACIÓN PREVIA DE TOPOLOCÍA V DEMANDAS	229
87	CALIDAL ES DE DISEÑO A LA DEMANDA	$-\frac{22}{235}$
83	COMPUTO DE CASTOS ENERGETICOS	233
8.4	ASISTENTE OPTIMIZACIÓN DE LA RED	$\frac{240}{244}$
9	ANÁLISIS HIDRÁULICO	263
-		
9.1	CONCEPTOS Y RECOMENDACIONES	_263
9.2	CONFIGURACIÓN DE CARACTERÍSTICAS GENERALES	_265
9.3	CONFIGURACION DE LA RED	_266
9.4	SIMULACIÓN DE ESCENARIOS ALEATORIOS	_268
9.4.1	HERRAMIENTAS PARA GENERACIÓN ESCENARIOS ALEATORIOS	_268
9.4.2	GENERACIÓN Y ANÁLISIS ESCENARIOS ALEATORIOS INDIVIDUALES	$_{270}$
9.4.3	GENERACIÓN Y ANÁLISIS DE MÚLTIPLES ESCENARIOS ALEATORIOS	$_{271}$
9.5	SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DETERMINISTAS	_279
9.5.1	GENERACIÓN Y ANÁLISIS DE ESCENARIOS DETERMINISTAS INDIVIDUALES	$_{280}$
9.5.2	GENERACIÓN DE ESCENARIOS DETERMINISTAS CON EVOLUCIÓN TEMPORAL	_281
9.5.3	ANÁLISIS DE ESCENARIOS DETERMINISTAS CON EVOLUCIÓN TEMPORAL	_291
10	ναι οραςιόν de costes ενεροέτισος ν ορτιμιζαςιόν de	
<u>IU</u> DECI	VALORACION DE COSTES ENERGETICOS Y OPTIMIZACIÓN DE U ACIONES EN ESTACIONES DE ROMBEO	207
<u>NEGU</u>	JLACIONES EN ESTACIONES DE BOMBEO	491
10.1	UTILIDADES	297
10.2	CURVA DE CONSIGNA	298
10.3	SELECCIÓN BOMBAS	-300
10.4	FUNCIÓN DENSIDAD DE PROBABILIDAD	303
10.5	REGULACIÓN BOMBEO	305
10.6	CÁLCULOS ENERGÉTICOS	⁻ 310
10.6.1	DATOS DE LA RED	311
10.6.2	REGULACIÓN DE LA ESTACIÓN	313
10.6.3	DATOS ENERGÉTICOS	315
10.6.4	RESULTADOS ENERGÉTICOS	_317
<u>11</u>	MANEJO DE BASES DE DATOS	321
11 1	BASES DE DATOS DE TUBERÍAS	377
11.1	BASES DE DATOS DE TUBERÍAS PORTA GOTEROS	-324
11.2	BASES DE DATOS DE L'OBERIAS LORTA GOTEROS BASES DE DATOS DE ACCESORIOS	324
11.5	BASES DE DATOS DE VÁLVILLAS	320
11.4	BASES DE DATOS DE VALVOLAS BASES DE DATOS DE FMISORES	-327
11.5	BASES DE DATOS DE EMISORES BASES DE DATOS DE ROMBAS	-337
11.7	BASES DE DATOS DE BOMBAS BASES DE DATOS DE TARIFAS ELÉCTRICAS	$\frac{332}{334}$
ANEX	XO I. CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS Y OPERATIVAS DE LAS RE	DES
<u>DE DI</u>	STRIBUCIÓN PARA RIEGO A PRESIÓN.	337
AI.1 D	EFINICIONES.	_337
AI.2 E	L PARADIGMA DE LAS REDES ESTRICTAMENTE RAMIFICADAS.	_339
AI.3 C.	ARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LAS REDES DE RIEGO A PRESION	_342
ANEX	XO II. MODELIZACIÓN DE LOS HIDRANTES	355

5

AII.1 OPERACIÓN DEL REGULADOR DE PRESIÓN	355
AII.2 OPERACIÓN DEL LIMITADOR DE CAUDAL.	356
AII.3 RESPUESTA HIDRÁULICA DE LOS HIDRANTES.	357
AII.4 MODELIZACIÓN DE LOS HIDRANTES EN GESTAR	361
ANEXO III. MODELIZACIÓN DE EMISORES	365
	505
<u>ANEXO IV. PROBABILIDAD DE APERTURA DE UN HIDRANTE</u>	369
ANEXO V. PÉRDIDAS EN BIFURCACIONES	371
ANEXO VI. VENTANA DE PARÁMETROS	375
AVI.1 MÁXIMO NÚMERO DE ITERACIONES	376
AVI.2 TIPO DE CONTROL DE LA CONVERGENCIA	376
AVI.3 TIPO DE INICIALIZACION	377
AVI.4 VALOR DE INICIALIZACION	377
AVI.5 COEFICIENTE DE RELAJACION	378
AVI.6 PARAMETRO DE CONDICIONADO	378
<u>ANEXO VII. ESTRUCTURA DE LAS BASES DE DATOS DE REDES D</u>	E GESTAR 379
AVII.1. INTRODUCCIÓN	379
AVII.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TABLAS DE LAS BASES DE DATOS DE RED	ES 379
AVII.3 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS DE LAS BASES DE DATOS DE RED	DES381
ANEXO VIII. COMPONENTES OBSOLETOS	394
AVIII 1. MODELIZACIÓN ARCAICA NODO RALSA	394
AVIII.2. MODELIZACIÓN ARCAICA ELEMENTO BOMBA	395
ANEXO IX. REGULACIÓN DEL BOMBEO	399
AIX.1. INTRODUCCIÓN	399
AIX.2. TIPOS DE REGULACIÓN	399
AIX.3. BOMBEO DIRECTO. REGULACIÓN BVF	401
AIX.4. BOMBEO DIRECTO. REGULACIÓN BVV	408
AIX.5. BOMBEO DIRECTO. REGULACIÓN MIXTA	413
	420

ANEXO XI. PROPIEDADES Y OBTENCIÓN DE LA FDP CAUDALES 425

REFERENCIAS

437

1 INTRODUCCIÓN

GESTAR se constituye en el paquete informático de referencia para la ingeniería de sistemas de riego a presión (redes de distribución colectivas y sistemas de aplicación del riego en parcela). Sus herramientas y módulos, específicamente concebidos para el contexto de los riegos a presión, y largamente contrastados, faculta para su mejor diseño, ejecución y gestión, con una amplia integración de recursos, muchos de ellos disponibles de forma exclusiva, y una larga trayectoria de innovaciones y aplicaciones a grandes y pequeños sistemas, siendo algunas de sus principales características resumidas a continuación.

- Integración de módulos de optimización, análisis hidráulico y energético en un mismo entorno, que no sólo facilita y agiliza el trabajo si no, lo que es más importante, permite hallar soluciones mucho más económicas y fiables que las encontradas mediante procesos que simplemente se basan en rutinas de optimización.
- Elevadas prestaciones de optimización para redes ramificadas de trazado dado, con múltiples opciones, protocolos y ágiles herramientas para facilitar encontrar soluciones con reducciones importantes de costes del sistema.
- Módulo de análisis hidráulico imbatible en robustez, flexibilidad y altamente eficaz, desarrollado específicamente y con capacidades exclusivas, tales como Análisis Inverso, tratamiento eficaz de *Elementos* de baja resistencia y válvulas reguladoras, modelización general de emisores puntuales y laterales emisores con caudal emitido dependiente de la presión, curvas características de bombas con puntos de inflexión, modelización de estaciones de bombeo directo,...
- ◆ Todos los módulos y herramientas, aunque internamente recuren intensivamente a procedimientos numéricos avanzados se encapsulan de forma transparente para el usuario en un entorno gráfico interactivo de uso intuitivo.
- ◆ Entorno "inter-operable" utilizando el estándar ACCESS como intermediario de comunicación, con todo tipo de sistemas CAD/GIS o programas terceros, a lo que se unen utilidades para la comunicación bidireccional con AutoCAD.
- Integración de numerosas herramientas innovadoras (generación de escenarios, alarmas, filtros, evoluciones temporales, configuración de tuberías con consumo en ruta, emisores,...) concebidas y desarrolladas como fruto de una larga experiencia en el diseño y modelización de redes.
- Disponibilidad de bases de datos para tuberías, válvulas, pérdidas singulares, aspersores, ramales de goteo, fluidos, tarifas eléctricas, bombas,...



FIGURA 1.1 Arquitectura de GESTAR

La FIGURA 1.1 muestra un diagrama sinóptico de los principales módulos que esquematizan la arquitectura de la aplicación.

El módulo de **Control de Flujos y Herramientas** soporta el "front end" de visualización y comunicación con el usuario, enlaza los diversos módulos operativos y lanza y controla las herramientas auxiliares que suministran los recursos prácticos de configuración y de análisis, tales como: edición y consulta de datos y resultados, generadores de escenarios aleatorios y/o deterministas, analizadores automáticos de resultados, programadores de riegos, configuración de alarmas, formulación de Caudales de Diseño, opciones de pérdida de carga,... entre otros muchos.

El módulo de **Dimensionado Óptimo**, realiza la optimización económica de redes ramificadas con trazado dado, tanto a la demanda como a turnos, encontrando la combinación de diámetros, *Material* y *Timbraje* que satisface, con el mínimo coste, los suministros de caudales y presión mínimas impuestas en hidrantes o emisores. La optimización admite alimentación tanto por gravedad, con altura piezométrica impuesta, como mediante estaciones de bombeo directo, en cuyo caso emerge del proceso de optimización, no sólo la altura de impulsión que minimiza los costes totales anuales (método abreviado con cálculo simplificado de los costes energéticos), sino también, la composición y regulación mas favorable de la estación de bombeo, utilizando para ello procedimientos iterativos y un cálculo detallado de los consumos energéticos, que incorpora la variabilidad de la demanda de caudal en la campaña y la respuesta hidráulica- energética de la estación de bombeo.

El módulo de **Simulación Hidráulica y Energética**, habilitado para reproducir el comportamiento de redes proyectadas o construidas, en condiciones habituales o excepcionales, se aplica sobre los dimensionados obtenidos del módulo anterior, incorporando todos los detalles constructivos y operativos, o sobre sistemas preexistentes. Por un lado faculta para validar, el comportamiento del sistema con realismo y generalidad, posibilitando la identificación, diagnóstico y resolución de posibles disfunciones. Por otro lado, permite definir y verificar los cambios y retoques posteriores precisos y optimizar la gestión y planificación del sistema a lo largo de su vida útil. Los resultados de tipo hidráulico y energético aportados por las simulaciones, suministran un análisis pormenorizado del comportamiento del sistema. Algunas de las aplicaciones recientes de estos recursos, completados con las herramientas de dimensionado óptimo, se encuentran en la selección de las alternativas de operación de la red (bombeo directo o a balsa, riego a la demanda o a turnos), en el estudio de las posibles sectorizaciones o turnos con distintos escalones de presión, o en la selección de la jornada de riego y las tarifas contratadas más adecuadas para una política de explotación determinada.

Desde el módulo de **Regulación de Estaciones de Bombeo** se suministran recursos innovadores y especializados en el correcto diseño y explotación de las estaciones de bombeo que alimentan redes de riego, asegurando una adecuada selección de equipos, así como su regulación, y la minimización de los costes energéticos. Algunos de los numerosos ejemplos de aplicación de estos recursos se cifran en la selección racional -en la fase de diseño- del número, tipo y regulación más adecuada de los grupos de bombeo; el reajuste de la regulación más apropiada a las características de funcionamiento de un sistema ya en explotación; el diagnóstico del origen de posibles disfunciones o la definición de modificaciones precisas en redes operativas con estaciones de bombeo ineficaces u obsoletas.

El módulo de **Diseño en Parcela** (en versión Beta, no documentado en este manual) conjuga adaptaciones de los anteriores módulos y extensiones específicas para el dimensionado óptimo y análisis de redes de de riego por aspersión y localizado.

Los módulos satélites, dedicados a suministrar las **Bases de Datos** (tuberías, pérdidas de carga singulares, pérdidas de carga en válvulas, según tipo y grado de apertura, bombas, tarifas eléctricas, aspersores, goteros, fluidos) y la **Comunicación I/O** de datos y resultados (intercambio con AutoCAD, ACCESS, exportación a Ms Office), constituyen un soporte adicional para la productividad e interoperabilidad de la aplicación.

Finalmente, las herramientas TELEGESTAR, conforman un entorno de librerías DLL independiente de GESTAR, que posibilita migrar e integrar las funcionalidades de simulación hidráulica y energética, que aporta GESTAR, así como recursos específicos para optimizar la gestión de estaciones de bombeo, en cualquier sistema de telecontrol y telegestión.

GESTAR comenzó su desarrollo en 1993, en el seno de Área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Zaragoza, vinculada a la Escuela Politécnica Superior de Huesca, en la titulación de Ingeniero Agrónomo, recibiendo un impuso destacado en virtud del convenio suscrito en 1995 entre el Departamento de Agricultura del Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza: "*Modelización Hidráulica Avanzada y Evaluación de las Redes de Riego*". Desde entonces nuevos convenios, diversas fuentes de financiación de proyectos de I+D, así como la captación de fondos mediante contratos de asistencia técnica y de explotación de licencias, ha permitido perfeccionar, actualizar y ampliar ininterrumpidamente sus prestaciones, en un permanente ciclo realimentado: desarrollo de innovaciones => aplicación intensiva => identificación de necesidades/mejoras => nuevo desarrollo de innovaciones

2 INSTALACIÓN

2.1 RECURSOS MÍNIMOS

Para la ejecución de GESTAR se recomienda disponer de los siguientes recursos mínimos en el ordenador donde se instale la aplicación.

- SO Windows XP-SP-2, (a)
- Memoria 512 Mb
- Espacio libre en disco duro C: 40 Mb
- Configuración de impresora virtual pdf (b)
- Ms Office 97 (c)
- AUTOCAD 2002 (c)

(a) Para ejecutar GESTAR sobre Windows Vista debe ejecutar GESTAR en *Modo Administrador*. La ejecución en Windows Vista no es actualmente recomendada.

(b) Con el instalador GESTAR se suministra una impresora virtual para documentos pdf de dominio público (CuteWriter) para el caso en que no disponga todavía de una utilidad de ese tipo, necesaria para generar los documentos resultado de los procesos de dimensionado óptimo de redes.

(c) Si se recurre a las herramientas de comunicación E/S de GESTAR con bases de datos ACCESS, las bases de datos creadas por GESTAR (procesos exportación) lo son en formato Ms Office 97 (compatibles con todas las versiones posteriores), y aquellas que genere el usuario para ser leídas por GESTAR (procesos importación p.e.), deben haberse guardado en formato Ms Office 97.

(d) Si se recurre a las herramientas de comunicación E/S de redes GESTAR con AutoCAD su versión de AutoCAD debe estar comprendida entre las versiones 2002 a 2009, inclusive, (se recomienda AutoCAD 2005, si es factible). **Debido a las limitaciones de diálogo de aplicaciones en Windows Vista, las herramientas de comunicación de GESTAR con AutoCAD, en Windows Vista, actualmente no son operativas en dicho S.O., pero si son accesibles en Windows 7.**

2.2 MODOS DE EJECUCIÓN

GESTAR y sus modalidades de ejecución se estructuran en UNA ÚNICA APLICACIÓN, con un INSTALADOR COMÚN (Gestar20XXSetup.exe) que permite diferentes niveles de acceso a los recursos implementados, según los privilegios disponibles y la opción que se elija en la ventana de arranque del programa (FIGURA 2.1), una vez instalado. Los instaladores tienen un tiempo de caducidad, con objeto de que la distribución de la aplicación se encuentre siempre actualizada.

Las tres versiones disponibles (o modos de ejecución) se denominan *Educativa, Profesional y Premium.*



FIGURA 2.1 Ventana de Inicio de GESTAR

El acceso al instalador, y a otros recursos, tales como ejemplos desarrollados, documentación adicional, herramientas auxiliares, ya disponibles o accesibles en el futuro, se realiza mediante alta de usuario en la web renovada <u>www.gestarcad.com</u>. El alta es gratuita, y el usuario se registra con su e-mail y una clave que la web genera automáticamente y envía a dicho e-mail (clave que posteriormente el usuario puede cambiar, con las opciones de la propia web). Los datos registrados son custodiados de acuerdo a la legislación de protección de datos, siendo motivo de baja la inclusión de información inexacta.

GESTAR Educativa

Modalidad de dominio público. No requiere conexión a Internet durante su ejecución. Simplemente se descarga el instalador y una vez ejecutado este, la versión es

directamente accesible. En este modo se encuentran **operativas todas las herramientas de la aplicación** pero limitadas, en cuanto al número de componentes, **a casos de pequeña dimensión** (Tabla 2. 1). No hay caducidad de la aplicación, una vez instalada, cuando se arranca en modo *Educativo*, si bien se recomienda realizar el alta del usuario en la web para recibir notificaciones, consultar con regularidad la disponibilidad de las actualizaciones y acceder a la documentación disponible.

	Educativa	Profesional	Premium*
Nodos Unión	25	100	3000
Consumo Conocido	20	100	3000
Hidrantes Reguladores	7	7	3000
Embalses	2	10	300
Balsas	2	10	300
Presión Conocida	2	10	300
Emisores	20	20	3000
Nodos Libres	5	5	300
Nodos Doble Condición	5	5	300
Tuberías	30	125	3000
Líneas de Emisores	5	5	3000
Válvulas	7	7	300
Bombas (análisis / regulación)	5/3	5/3	300
Elementos Libres	5	5	300
Vértices polilíneas	300	300	300

*Valores por defecto. Si el usuario necesita valores superiores (sin límite) pueden ser suministradas compilaciones especiales sin coste adicional.

Tabla 2. 1 Valores máximos de componentes según modos de ejecución. Pueden aparecer cambios en los modos *Educativo* y *Profesional* sin previo aviso. Consulte en <u>www.gestarcad.com</u>.

GESTAR Profesional

Modalidad de dominio público. Requiere darse de alta como usuario en la web y conexión a Internet con autentificación del usuario (e-mail de usuario y clave) al comienzo de cada arranque de la aplicación, comprobándose el alta del usuario y la actualización de la versión instalada, que tiene una caducidad periódica. En la versión *Profesional* el número máximo de componentes que puede manejar se encuentra ampliado respecto a la versión *Educativa* si bien algunos recursos se encuentran restringidos o deshabilitados. Estas condiciones, así como las de Tabla 2. 1 pueden ser modificadas sin previo aviso.

GESTAR Premium

El acceso a la modalidad de ejecución GESTAR **Premium** se reserva a aquellas entidades, de carácter público o privado, o profesionales a título particular, que apoyan con algún grado de patrocinio el desarrollo y mantenimiento de la aplicación GESTAR. Las modalidades de patrocinio (Convenio, Asistencia Técnica, Licencia) se describen en la web www.gestarcad.com/¿Qué es GESTAR?. Los respectivos modelos de contrato se encuentran en la zona de descargas de la web. Contacte mediante el e-mail info@gestarcad.com con el Servicio de Atención a Usuarios para cualquier duda o consulta al respecto.

Para llevar a cabo la ejecución de GESTAR en modo *Premium* será necesario disponer de un fichero de licencia, asociado exclusivamente al ordenador donde se instala la aplicación, de suministro restringido a usuarios *Premium*, y haber realizado previamente el registro de dicha licencia, como se describe en el apartado 2.3, pág. 16.

El uso de GESTAR en modo Premium no requiere de conexión a Internet y es compatible con el arranque posterior en cualquiera los otros modos, Educativo y Profesional, Recuerde, no obstante, que las redes generadas con las herramientas de importación desde AutoCAD con la versión Premium, independientemente de su tamaño, no pueden ser abiertas con la versión Profesional, que carece de de esta funcionalidad.

Las Licencias **Premium** incluyen una serie de servicios de asistencia técnica y soporte (Servicio de Atención al Usuario) durante 12 meses, a partir de la fecha de activación de la licencia de uso de GESTAR **Premium**:

- Actualización de versiones gratuita.
- Acceso gratuito al servicio de soporte, vía telefónica y web, en aspectos relacionados exclusivamente con el manejo de la aplicación (contacto info@gestarcad.com).
- Servicio gratuito de migración remota (ver condiciones) de la Licencia *Premium*.
- En cada licencia de uso de GESTAR 2010 PREMIUM se incluye un descuento de los derechos de inscripción correspondientes a una jornada completa en los seminarios y cursos de formación, que periódicamente organizan los autores en fechas que se anuncian oportunamente a los usuarios registrados en la web: www.gestarcad.com.

En el contrato de Licencia se suscribe opcionalmente una ampliación del Servicio de Atención a Usuarios, que incluye los servicios de actualización, soporte y migración, a partir de la expiración del periodo de 12 meses.

Las entidades patrocinadoras con convenios plurianuales pueden contemplar el facilitar el acceso a las versiones *Premium*, mediante cesiones de uso de carácter temporal, a aquellas empresas o entidades que realicen actividades delegadas en temas de su competencia legal o territorial, durante el plazo de ejecución de los mismos. Estas cesiones incorporan, durante su vigencia, el Servicio de Atención al Usuario.

2.3 PROCESO DE INSTALACIÓN GENERAL. REGISTRO PREMIUM

Previa alta del usuario en la web <u>www.gestarcad.com</u>., se accede a la zona de *DESCARGAS/descargas de Software*. Al seleccionar la opción *Descargar el Instalador*, el usuario podrá *ejecutar* o *guardar* el instalador más reciente de la aplicación. Se recomienda realizar la instalación en la unidad *C/ Archivos de Programa* (como ocurrirá por defecto si se lanza la ejecución sin guardar previamente el ejecutable), **así como**

trabajar con archivos guardados en el disco C:, para asegurar la operatividad de todos los recursos.

Tras lanzar el instalador *Gestar20XXSetup.exe* (de forma directa tras la *Descarga* o bien haciendo doble "clic" sobre el archivo guardado) se abrirá el asistente de instalación (FIGURA 2.2).



FIGURA 2.2 Decisiones de instalación. Izda (Idioma), Dcha (Aceptación condiciones)

La ejecución completa del instalador requiere seleccionar el idioma (FIGURA 2.2 Izqda, existen dos opciones: español e inglés, pero el repertorio puede ser ampliado, consulte www.gestaracad.com) y aceptar las condiciones de uso (FIGURA 2.2 Dcha). Al final del mismo, en caso de que no disponga de una impresora virtual de documentos pdf, se recomienda instalar la impresora virtual pdf que se incorpora en el directorio de instalación C/Archivos de Programa/Gestar20XX/CuteWriter.exe. Para ello ejecute su instalador CuteWriter.exe y siga las instrucciones.

En caso de trabajar con la versión *Profesional* deberá tener habilitada una conexión con Internet mediante protocolo FTP (puerto 21) durante cada arranque de la aplicación, y suministrar el nombre de usuario y clave obtenidas en el registro en la web.

PRIVILEGIOS PARA LA INSTALACIÓN DE UNA LICENCIA PREMIUM

La instalación de GESTAR *Premium* requiere disponer de privilegios de Administrador.

En el caso que el usuario que instala GESTAR no sea Administrador (no sea del grupo administradores) el protocolo es el siguiente:

- Dar permisos al usuario para poder instalar GESTAR (sólo temporalmente).
- Instalar y registrar.
- Retirar los permisos.

Para que el usuario pueda actualizar posteriormente la aplicación, sin necesidad de contar con el concurso del Administrador, se recomienda que éste aplique permisos de administrador al usuario en cuestión, sólo para la carpeta que contiene la aplicación.

Si la aplicación va a ser utilizada por varios usuarios se recomienda crea un nuevo usuario específico común para el empleo GESTAR.

REGISTRO DE LICENCIA *PREMIUM*

Cuando en el proceso de arranque de GESTAR se seleccione por primera vez la opción *Premium*, el programa mostrará el *Formulario de Registro* de la FIGURA 2.3.

Contacte telefóni e-mail info@gesta	icamente 679 112 19	4 o vía
	arcad.com y proporci	ione la
siguiente condici	ón de licencia: 35638594072	
Empresa:		
Proyecto:		
	Empresa:	Empresa: Proyecto:

FIGURA 2.3 Formulario de Registro Licencia Premium

En el *Formulario de Registro*, FIGURA 2.3, aparecerá en la casilla superior una secuencia de caracteres numéricos, denominada "*Condición de Licencia*" Este código deberá comunicarlo vía e-mail, al Servicio de Atención al Usuario, (info@gestarcad.com). Los campos *Empres*a y *Proyecto* se encuentran en blanco esta fase.

Se confirmará a su vez la persona que se constituye en *Usuario de Referencia* (coincidente en principio con la indicada en el tipo de contrato de Licencia correspondiente), la empresa/entidad a que pertenece (y en el caso de cesiones temporales de licencias, el nombre el proyecto concreto en que se usará la aplicación) y un número de teléfono y e-mail de contacto.

Concluida esta primera fase del procedimiento, y hasta no reciba el preceptivo *Fichero de Licencia*, pulsará el botón *Salir* y podrá continuar trabajando con las versiones *Educativa* y *Profesional* hasta la recepción del *Fichero de Licencia*.

Contra la verificación de los datos recibidos, el Servicio de Atención al Usuario remitirá de forma inmediata al *Usuario de Referencia* por e-mail el *Fichero de Licencia* (*.ges) asociado al código de la *Condición de Licencia*, fichero que guardará en alguna carpeta del ordenador donde se instala la licencia. Tras guardar el *Fichero de Licencia*,

deberá proceder a la activación de la *Licencia Premium* arrancado de nuevo la aplicación en modo *Premium*, que presentará la misma ventana *Formulario de Registro* de la FIGURA 2.3.Desde esta ventana pulsará el botón *Cargar Licencia* abriéndose una ventana de examen de ficheros para localizar y abrir el *Fichero de Licencia* suministrado. Una vez abierto este *Fichero de Licencia* aparecerán rellenados los campos *Empresa* y *Proyecto*, FIGURA 2.4.

Regis	tro GESTAK Premium
	Contacte telefónicamente 679 112 194 o ví e-mail info@gestarcad.com y proporcione la
50	siguiente condicion de licencia: 35638594072
	Empresa: Grupo I+D+I Gestar
• -	Proyecto: Desarrollo
+34 679 112 194 info@gestarcad.com	i de la companya de l

FIGURA 2.4 Registro de Licencia Premium

Se recomienda comprobar que los datos *Empresa* y Proyecto que aparecen entonces en la ventana de registro de licencia son correctos, ya que estos datos aparecerán en todos los documentos que genere GESTAR. A continuación deberá pulsarse el botón *Registrar* y esperar a que concluya el arranque de la aplicación.

ATENCIÓN: No cancele ni vuelva a ejecutar GESTAR hasta que se complete el primer arranque.

Si el proceso se ha desarrollado correctamente tras unos segundos se desplegará la ventana inicial de GESTAR, indicando que el proceso ha concluido correctamente. A partir de este momento ya puede disponer del uso de GESTAR en modo *Premium*.

. Una vez registrada la versión, en los posteriores arranques de la versión *Premium* no se solicita ningún otro dato, ni requiere conexión a Internet.

ACTUALIZACIONES

En sucesivos arranques no necesitará de nuevos registros ni de acceso a Internet para la ejecución de GESTAR en modo *Premium*. Tampoco caducará la versión durante el periodo de validez de la licencia, si bien es recomendable realizar actualizaciones, que no requieren de nueva instalación ni registro. **Para ello debe ejecutar el fichero de actualización** *ActualizacionGestar.exe*, que encontrará en la zona de descarga de software de la web. <u>www.gestarcad.com</u> Podrá actualizar las versiones durante 12 meses a partir de la fecha de registro de la *Licencia Premium*.

IMPORTANTE, LEA ESTO CON ATENCIÓN:

DESINSTALACIÓN y MIGRACIÓN DE LICENCIAS PREMIUM

Si en su ordenador se ha registrado una *Licencia Premium*, BAJO NINGÚN CONCEPTO desinstale o instale una versión nueva de GESTAR sin instrucciones específicas para ello de los autores, pues perdería la licencia otorgada.

Si desea realizar la migración de la licencia de un ordenador a otro ordenador debe recurrir al protocolo de migración de la licencia GESTAR que le facilitará el equipo de desarrollo previa notificación. Para que pueda ser efectiva la migración, es condición indispensable que la aplicación original GESTAR registrada con Licencia *Premium* se encuentre operativa y accesible (sin desinstalar, ni reinstalar el sistema operativo o formatear el disco de instalación) en el ordenador para el que se suministró originalmente la *Licencia Premium*, en el momento de la aplicación del protocolo.

3 REVISIÓN DE FUNCIONALIDADES

En este Capítulo 3 se realiza una presentación general de las características, prestaciones y aplicaciones de los diversos módulos y herramientas de GESTAR, enunciados previamente en el Capítulo 1, y cuyo manejo y operativa detallada será descrita en el resto del manual.

Dado que algunos de estos recursos son de carácter innovador y exclusivo, sobre los que los usuarios quizá no dispongan de antecedentes o formación previa, se recomienda una lectura atenta del Capítulo para disponer de la base conceptual mínima sobre la que asentar la explotación de las más recientes herramientas incorporadas a GESTAR.

En el Capítulo se citan publicaciones y referencias (listadas en el Capítulo REFERENCIAS, al final de los Anexos del manual), la mayor parte de ellas disponibles para su descarga en la web <u>www.gestarcad.com</u>, para aquellos usuarios que deseen profundizar en el conocimiento de los fundamentos teóricos, los métodos de cálculo y las técnicas computacionales implementados en los diversos módulos de la aplicación.

Si bien el entorno de manejo de GESTAR es de fácil uso y comprensión, como toda herramienta avanzada de ingeniería moderna, GESTAR constituye un soporte valioso que facilita la labor y potencia las competencias de los técnicos, pero no los sustituye, ni reemplaza su necesaria cualificación profesional, formación, y experiencia previa en ingeniería hidráulica aplicada a sistemas de riego para aprovechar al máximo todos los recursos que ofrece.

El uso de las mejores herramientas de cálculo implica un usuario suficientemente preparados para comprender los procesos involucrados y para interpretar de los resultados, pues de lo contrario pueden devenir problemas operativos, conceptuales y errores en los proyectos resultantes.

3.1 ENTORNO GRÁFICO

La carga de redes, especificación de condiciones de contorno, modificación de parámetros, presentación y análisis de resultados se realiza en un entorno gráfico completamente interactivo.

Todas las operaciones y manejo de opciones se efectúan mediante iconos, barras de herramientas, ventanas de diálogo y menús desplegables, haciendo sumamente cómoda e intuitiva la explotación de sus capacidades. Su manejo no requiere de un estudio preliminar enjundioso, permitiendo a todo tipo de usuarios, desde proyectistas hasta regantes, familiarizarse en poco tiempo con las herramientas que se necesita aprovechar para cada propósito. Para ello se da relevancia a los aspectos de comunicación gráfica con el usuario, manejo autoexplicativo, consistencia de los algoritmos de cálculo frente a situaciones extremas, resolución integrada de las tareas auxiliares mediante utilidades, verificación de la coherencia de los datos de entrada, comprobación automática de la compatibilidad de condiciones de contorno, ayudas y valores por defecto configurables por el usuario, gestión de errores, etc. Se reseñan en particular los siguientes recursos.

Configuración interactiva: configuración de redes gráfica e interactiva "click & drop", entrada/salida "point and click" en ventanas gráfica de comunicación con el usuario de uso intuitivo y amigable, reproducción a escala de la planta de la red, esquemas, ventanas de diálogo, menús de ayuda, tablas, gráficos, gestión de errores, etc..

Trabajo en coordenadas UTM: Origen y escalas (proporcionales a la resolución de la pantalla o asignadas por el usuario) configurables para ajuste de mapas y ortofotos usados como fondo.

Inserción de imágenes: Como fondo auxiliar cartográfico para el trazado o en formato bmp, jpg, gif.

Consulta y documentación de datos y resultados: Ventanas de edición, códigos de colores, mapa de valores numéricos, ventana pop-up con datos de componente señalado, tablas de resultados, exportación ficheros de texto base datos ACCESS o EXCEL. Gráficos de evolución temporal.

Parámetros gráficos configurables: Valores por defecto, prefijo de identificadores, código de colores y formato de visualización en el mapa de valores numéricos, apariencia de fondo de mapa, *Nodos y Elementos*, visualización/ocultación de símbolos de *Nodos y Elementos*, flechas de sentido, número de dígitos en los datos visualizados

Selección rectangular y poligonal irregular: para operaciones cortar, copiar, pegar, desplazar, borrar, calcular coste y de asignación de parámetros de forma global sobre los componentes seccionados.

Partición de una Tubería en dos tramos: En el punto señalado mediante el cursor en una *Tubería* existente, se permite la introducción de un *Nodo* intermedio, interpolando su cota y las longitudes de los dos tramos resultantes.

Unión de redes: Unión de dos ficheros independientes *.red en un único fichero de salida para unir redes parciales en un sistema mas amplio, con asignación opcional de prefijos distintos a los componentes de cada red y solapamiento de los *Nodos* comunes (coordenada e ID) de conexión.

Zoom In/out: Zoom-ventana de ampliación y Zoom-mitad en reducción, selección de nivel de Zoom inicial fijado en opciones de Escala.

Desplazamiento mediante barras de scroll: Navegación a través del mapa de la red mediante barras de desplazamiento horizontal y vertical.

Búsqueda de nodos/elementos: Localización directa de *Nodos* o *Elementos* por su ID y por el campo comentario, con señalización en el mapa o despliegue automático de las ventanas de edición de sus datos.

Inserción de Texto: Textos informativos añadidos al mapa de la red con formato configurable.

3.2 DIMENSIONADO ÓPTIMO REDES RAMIFICADAS

En el caso de redes configuradas como estrictamente ramificadas (ver ANEXO I, pág. 335) con Caudales de Diseño preestablecidos y trazado impuesto, se facilita desde GESTAR la herramienta de dimensionado, que incluye criterios de optimización económica, esto es, que permite determinar la combinación de *Tuberías* que consigue satisfacer los requisitos de presión impuestos, para los *Caudales de Diseño*, con un coste global mínimo, o muy próximo al mínimo global.

Una red se denomina estrictamente ramificada si posee una topología ramificada en la que existe exclusivamente un único punto de altura piezométrica impuesta, que habitualmente corresponderá al punto de alimentación, mientras el resto de *Nodos* de la red se asimilan a puntos de consumo conocido, esto es, *Nodos* de bifurcación, con consumo nulo, o hidrantes regulados con caudal igual a la dotación. Es bien sabido (UPV, 1993) que las redes en que la topología y las condiciones de contorno se implementan configurando una red estrictamente ramificada, son particularmente ventajosas desde el punto de vista del diseño, ya que es posible determinar "a priori" los caudales de línea, desacoplados de las ecuaciones hidráulicas, lo que posibilita, por un lado, establecer las metodologías de dimensionado óptimo económico de los diámetros y *Material* de la red, y por otro lado, calcular posteriormente y de forma explícita las presiones en cada punto del sistema, una vez que los diámetros han sido fijados, para cada configuración de demanda instantánea que se formule.

En ocasiones, la topología y configuración de las condiciones de contorno, se alejan ligeramente de la estructura estrictamente ramificada, y mediante una serie de simplificaciones o suposiciones es posible recuperar el paradigma, permitiendo extender la aplicación de los módulos de optimización. En estos casos será aún más necesario, si cabe, aplicar en una etapa posterior las herramientas de simulación, que no se encuentran restringidas, a la configuración ramificada, reproduciendo la topología real del sistema, con todos sus detalles, con objeto de comprobar la validez y alcance de las aproximaciones e hipótesis introducidas en el módulo de dimensionado.

Debe señalarse además que, incorporando técnicas de optimización en el dimensionado, los resultados siempre deben inexorablemente interpretarse con precaución, por varios motivos:

Los caudales estadísticos empleados en el caso de redes a la demanda, y las condiciones de ajuste de la presión a niveles impuestos, puede provocar **estrangulamientos** excesivos en ciertos ramales que se convierten en zonas extremadamente vulnerables a concentración de la demanda en sus proximidades y extremos, induciendo importantes caídas de presión en combinaciones de demanda, susceptibles de acontecer con cierta frecuencia, situaciones anómalas que el "dimensionado óptimo" no sólo no detecta, sino que provoca.

La sensibilidad de la solución matemática a las restricciones de presión, a las hipótesis de trazados o a las condiciones que se impongan en el uso de la red (tipo de demanda, encaje de turnos, Jornada Equivalente de Riego,...) puede provocar significativas reducciones de coste mediante los ajustes adecuados.

En el sentido opuesto, el funcionamiento de la red, en términos de flexibilidad y seguridad, puede mejorarse en ocasiones notablemente mediante **retoques** del dimensionado, que aportando encarecimientos limitados respecto a la solución calificada como "óptima", suponen sin embargo aumentos de flexibilidad y seguridad relevantes que compensan el supuesto encarecimiento.

Por otra parte, algunos de los resultados del óptimo matemático de la combinación de *Tuberías* pueden ser **constructivamente inviables** (diámetros no decrecientes aguas abajo, multiplicidad de diámetros, *Material* distintos intercalados...) o encarecer en la práctica la ejecución del supuesto óptimo (piezas especiales, stocks, logística, mano de obra...).

Todos estos aspectos, que sólo pueden resolverse mediante el análisis hidráulico meticuloso del sistema, concluyen en algunos casos con ahorros que muchas veces superan netamente las diferencias encontradas en la aplicación de distintos algoritmos de optimización, y en cualquier caso mejoran la calidad y racionalidad del diseño.

A pesar de todas las anteriores prevenciones, la incorporación en la fase de dimensionado de técnicas de optimización resulta imprescindible, en términos de facilitar búsqueda de la economía y operatividad de diseño inicial, que de esta manera, y en tanto no se cubren las demás fases, solo se puede considerar un "predimensionado racional".

Entre los algoritmos de dimensionado óptimo de redes estrictamente ramificadas que incorporan el Método de la Serie Económica, que supone que existe una función potencial continua que describe el coste de las conducciones en función de su diámetro, podemos encontrar DIOPCAL (UPV, 1999) cuyo origen se encuentra en el grupo de Investigación y Desarrollo de Modelos Hidráulicos (IDMH) de la Universidad Politécnica de Valencia. En virtud del proyecto coordinado de investigación HID-98-0341-C03-02 del Ministerio de Ciencia y Tecnología, dichos tipos de rutinas fueron integradas en el programa GESTAR. Desde entonces, junto a una intensiva depuración de los módulos de dimensionado, se han incorporado un conjunto de mejoras y refinamientos, así como un nuevo procedimiento de optimización que conjuga un Método de la Serie Económica sensiblemente perfeccionado (González y Aliod, 2003) con algoritmos de optimización discontinua tipo Labye (Labye et al., 1988). Ambos métodos (estándar y mejorado) pueden ser opcionalmente invocados en los módulos de dimensionado para admitir un número arbitrario de *Nodos* y aceptar identificadores alfanuméricos de hasta quince caracteres.

Debe señalarse que, si sobre el dimensionado obtenido de cualquier proceso de optimización se realiza subsiguientemente una etapa de simulación hidráulica y se toman medidas adecuadas a resultas de las conclusiones observadas, es factible encontrar en ocasiones sistemas que, con un comportamiento funcional válido, resulten incluso más económicas. La formulación y verificación mediante simulación del comportamiento de **turnos** postulados en ciertos ramales críticos de la red, conjugados

con un funcionamiento a la demanda del resto de hidrantes, también aporta diseños con economías que supongan un ahorro del coste inicial del sistema.

Se reseñan a continuación las prestaciones y recursos principales accesibles en el módulo de optimización.

Cálculo Caudales de Diseño: Mediante acumulación de tomas abiertas en riego a turnos o mediante formulación de Clement, para riegos a la demanda, con diversos niveles de garantía de suministro, graduable en función del número de tomas. Los *Caudales de Diseño* pueden ser retocados por el usuario en el propio módulo o mediante la edición de las *Tuberías*.

Dimensionado de Tuberías de redes a la demanda: Para redes ramificadas con un punto de altura piezométrica conocida (con alimentación directa o mediante bombeo interpuesto) con trazado, *Caudales de Diseño* y presiones de consigna dados, mediante técnicas de optimización económica.

Dimensionado de Tuberías de redes a turnos, con turnos especificados, usando criterios de optimización económica, para redes ramificadas con un punto de altura piezométrica conocida (con alimentación directa o mediante bombeo interpuesto) con trazado y presiones de consigna dadas.

Inclusión de pérdidas singulares y distribuidas: El efecto de las pérdidas singulares puede contemplarse mediante su longitud equivalente, distribuidas globalmente de forma uniforme como un porcentaje de la longitud de cada conducto, o específicamente o tramo a tramo así como modificar globalmente o tramo a tramo la *Rugosidad* y

Tuberías forzadas: También pueden definirse tramos de *Tuberías* cuyas propiedades se imponen (tramos forzados) y no son alterados durante la optimización.

Altura impulsión nominal óptima: En el caso de redes con bombeo directo, para los *Caudales de Diseño* de la red, dando el rendimiento ponderado del bombeo, los volúmenes anuales servidos, los costes unitarios de la energía y de contratación de potencia, así como de las tarifas con recargo descuento aplicadas, si los hubiera, se suministra además la altura que optimiza los costes de amortización y energéticos,

Ajuste de parámetros: Diversos ajustes y opciones de la optimización permiten refinar los dimensionados y aquilatar los costes adicionalmente son ahora configurables y accesibles al usuario.

Redimensionado Express: Partiendo de un fichero binario o texto generado en un dimensionado previo, que contiene la descripción completa de la red a optimizar y las restricciones establecidas, mediante el asistente de dimensionado pueden retocarse fácilmente valores puntuales o realizar pruebas sistemáticas.

Guía para refinado de los dimensionados. Opciones que informan de los *Nodos* que resultan más críticos y cuyos requisitos de presión encarecen en mayor medida los costes de las conducciones, de manera que racional y ordenadamente puedan ser reducidos los requisitos de presión en los mismos, con objeto de rebajar el coste del sistema.

Discriminación por tramos de sobrepresiones debidas a transitorios, permitiendo aquilatar los costes de las *Tuberías* al reutilizar los resultados de los análisis de transitorios para adjudicar a cada tramo el *Timbraje* adecuado y ajustado a las sobrepresiones calculadas, en vez de un valor global único.

Discriminación por tramos de velocidades máximas admisibles, con objeto de aquilatar los costes al reutilizar los resultados de los análisis de transitorios para adjudicar a cada tramo la velocidad máxima tolerable adecuada y ajustada a las condiciones locales, en vez de un valor global único.

3.3 ANÁLISIS HIDRÁULICO/ENERGÉTICO

El análisis hidráulico y energético de un sistema de distribución a presión consiste en la predicción y verificación detallada, mediante técnicas de simulación computacional, del comportamiento de la red me manera que se evalúan todos los parámetros hidráulicos (caudales, presiones, velocidades,...) en cada componente de la red, y los parámetros energéticos relevantes (potencia, rendimiento, gasto,...) en los equipos de bombeo (equipos individuales y estaciones), y ello para cada configuración de la demanda instantánea que sea de interés,. La topología red y sus componentes (hidrantes, conducciones, equipos de bombeo, dispositivos de regulación,....) estarán definidos, bien por un dimensionado previo, o por una información constructiva preexistente en le caso de redes ya diseñadas y/o ejecutadas.

El análisis de la red se extenderá más allá de la pura fase de diseño en la oficina técnica, siendo imprescindible durante la ejecución de las obras, ya que las diversas y complejas vicisitudes que atraviesa un proyecto de transformación en regadío a presión, desde las primeras evaluaciones hasta la entrega de las instalaciones, implican abundantes y constantes cambios sobre el proyecto inicial, muchas de las cuales se improvisan durante la propia ejecución, cuyo efecto conviene estudiar en previsión de disfunciones o efectos inducidos que hayan podido pasar desapercibidos al proyectista o al constructor.

Estas técnicas de simulación, en su origen aplicadas a los sistemas de abastecimiento, se han demostrado asimismo idóneas y aún más precisas y fiables (Aliod et al, 1997), si cabe, en las redes para regadíos, ya que:

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

gestores de la explotación o por medio de procedimientos automáticos basados en sensores de caudal instalados en los hidrantes.

TECNICAS DE ANÁLISIS NODAL MEJORADAS Y GENERALIZADAS

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

Si bien cabría formular la posibilidad de aprovechar para la simulación hidráulica de los sistemas de riego las herramientas informáticas usadas en el análisis de los sistemas de abastecimiento, es un hecho que los paquetes de cálculo disponibles para abastecimiento no se adecuan a la idiosincrasia de las redes de riego, ni permiten su uso eficaz en el diseño y gestión cotidianos.

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

GESTAR implementa es su módulo de simulación para el análisis hidráulico y energético cuasi estacionario, técnicas numéricas matriciales originales y específicamente adaptadas a las características de los sistemas de riego a presión, recurriendo a extensiones de *Método de Análisis Nodal*, (Aliod et al, 2007), (Estrada et al. 2009) que por su naturaleza , permiten abordar la simulación de redes de cualquier topología, (ramificada, malla, mixtas,...) y un tratamiento general, y compacto de todo tipo de condiciones de contorno y dispositivos de regulación.

Estas técnicas se basan en la transformación del sistema completo de ecuaciones no lineales que caracteriza cada nudo y cada *Elemento* de la red, junto a las condiciones de contorno, en un sistema de ecuaciones que admite una formulación matricial pseudo lineal, puesto que los coeficientes de la matriz del sistema de ecuaciones dependen a su vez de las variables incógnita, cuya solución se busca. Para resolver esta indeterminación se recurre a procesos iterativos, optimizados para acelerar la tasa de convergencia a la solución.

En el caso de *Líneas de Emisores*, estos componentes se integran en el sistema general de cálculo matricial como *Elementos* emisores continuos, con caudal emitido por unidad de longitud dependiente de la presión local, *Líneas de Emisores* que son modelizados mediante una aproximación integrodiferencial (Warrik y Yitayew, 1988) extendida y generalizada (Estrada, 2000), (González y Aliod, 2005) (González y Aliod, 2007)

En el *Análisis Nodal* el número de condiciones de contorno relativas a *Nodos* y *Elementos* que puede imponerse y el número de incógnitas hidráulicas que pueden resolverse es igual al número de *Nodos* de la red. Comúnmente se establece una condición en cada *Nodo*: En los *Nodos* de demanda o suministro de caudal conocido se especifica una condición de caudal, mientras que en los *Nodos* conectados a puntos de presión dada (depósitos, reguladores, descargas a la atmósfera,...) se especifica la altura piezométrica. El cálculo devolverá el valor de la otra variable nodal, altura o caudal respectivamente. No obstante, el módulo de simulación de GESTAR, introduce la innovación, en el contexto de los métodos nodales, de permitir relajar estas condiciones, posibilitando una elección general y flexible del juego de datos e incógnitas, lo que resulta sumamente útil con propósitos de regulación, optimización y búsqueda de parámetros, técnica que globalmente se conocen como *Análisis Inverso* de redes.

CURVAS CARÁCTERÍSTICAS AJUSTADAS MEDIANTE SPLINES

GESTAR modela el comportamiento de los equipos de bombeo (y curvas de cubicación de balsas) mediante las curvas características de altura de impulsión, potencia (o rendimiento) y *NPSHR* en función del caudal impulsado, dadas por puntos discretos, entre los que se realiza una interpolación analítica mediante "splines". Este tipo de ajuste implica una serie de ventajas relevantes, que redundan en la generalidad y productividad de la aplicación:

- Se obtiene una aproximación más precisa y continua de las curvas características en todo el rango de caudales, con un menor número de puntos introducidos, mejorando a la vez la exactitud de las predicciones de presión y del consumo energético.
- Permite introducir curvas características reales, incluso con múltiples puntos de inflexión y tramos crecientes en la curva de altura de impulsión, característica exclusiva que permite trabajar a GESTAR con curvas altura-caudal arbitrarias y no sólo monótonamente decrecientes.
- Garantía de estabilidad y convergencia de las rutinas de simulación, al existir continuidad en la primera derivada de la curva de altura de impulsión en todos los caudales, evitando inestabilidades asociadas a las discontinuidades producidas por un ajuste lineal entre puntos dados.

La introducción de los puntos de las curvas características de los equipos de impulsión puede hacerse en forma tabular o automática, recurriendo a las utilidades de selección desde las *Bases de Datos de Bombas*, incorporadas en el instalador de GESTAR.

Las carga automática de los puntos de las curvas características puede realizarse mediante los menús de selección directa, desde los que se elige fabricante, serie, modelo y tamaño de rodete entre los registrados, o estableciendo un punto de funcionamiento deseado (altura de impulsión y caudal) y encargando al motor de búsqueda de la base de datos que encuentre aquellas combinaciones que más se ajusten a dicho punto, ordenando las bombas de mayor a menor rendimiento. En este último caso, para cada bomba que se seleccione se estima el recorte de rodete que se precisa para obtener justamente el punto deseado. La posibilidad de introducir curvas características de forma arbitraria resulta además determinante para implementar de manera muy sencilla, a la par que rigurosa, el comportamiento de estaciones de bombeo directo con cualquier tipo de regulación que permita seguir una curva de consigna, mediante una o varias bombas de velocidad variable (o bien la curva neta de altura de impulsión de la asociación en paralelo, si todos los grupos son de velocidad fija). Para ello, basta con representar el conjunto de la estación de bombeo mediante una pseudo-bomba cuya curva altura de impulsión vs. caudal sea precisamente la curva de consigna impuesta al autómata de la estación de bombeo, y cuya curva de potencia neta (o rendimiento) vs. caudal sea la correspondiente a la composición y tipo de regulación empleado.

Estas curvas pueden ser impuestas tabularmente por el usuario u obtenidas automáticamente mediante las herramientas que GESTAR aporta bajo el menú *"Regulación de la Estación de Bombeo"* (ver pág. 175).

<u>CÁLCULO DE PARÁMETROS ENERGÉTICOS INSTANTÁNEOS Y TOTALES</u>

GESTAR a partir de su versión 2008 amplía el conjunto de las variables de índole energética que es posible visualizar gráficos o tablas, con los valores de potencia absorbida y rendimiento instantáneos, que se evalúan para cada grupo individualmente, y para el conjunto de todas las estaciones de bombeo (García et al. 2008). En función de los valores instantáneos de potencia, GESTAR computa la energía neta consumida a lo largo del tiempo, junto al importe económico correspondiente, según las tarifas de energía y potencia asociadas, moduladas en tantos intervalos horarios y periodos anuales como se desee. Una utilidad específica permite al usuario introducir las tarifas contratadas (o en curso de negociación) con total flexibilidad y generalidad.

También se destaca la incorporación del cálculo de los indicadores de eficacia energética establecidos en el *Protocolo de Auditoria Energética para Comunidades de Regantes* (IDAE, 2008), tales como la *Eficiencia Energética de los Bombeos* (*EEB*) y la estimación de la *Eficiencia de Suministro Energético* (*ESE*). Estos indicadores se calculan para cada instante y en forma de balance global acumulado a lo largo del tiempo de la simulación. El cómputo que GESTAR realiza de tales parámetros no sólo es de interés en el contexto de auditorias energéticas y en la definición mejoras efectivas en las instalaciones existentes, sino que además, y no menos importante, su cuantificación preventiva, en fase de diseño, posibilita detectar las disfunciones, si las hubiera, y aplicar desde el origen del proyecto las correcciones precisas.

En resumen, los principales aspectos de índole computacional que son tratados con especial atención en el módulo de simulación hidráulica/energética de GESTAR, son:

 Presencia de tramos sin caudal circulante, a partir del último hidrante abierto en un ramal, incluso ausencia de caudal en todos los tramos de la red cuando no existe ninguna demanda.

- Existencia de descargas a la atmósfera a través de emisores con caudal dependiente de la presión.
- Modelización del comportamiento de los hidrantes, no exclusivamente como puntos de demanda impuesta, sino incluyendo la simulación de sus dispositivos de regulación y el comportamiento hidráulico de la parcela que alimentan.
- Detección de *Nodos* desconectados por acción de cierre de válvulas en las *Tuberías* que los alimentan.
- Actuación robusta de válvulas limitadoras de caudal y sostenedoras de presión insertadas en redes ramificadas.
- Ajuste de *Curvas Características* de grupos de bombeo mediante *splines*
- Modelización de estaciones de bombeo mediante Curvas de Actuación conjunta.
- Tratamiento integrodiferencial de *Líneas de Emisores* con caudal emitido dependiente de la presión
- Resolución acoplada de caudales y presiones en válvulas reguladoras
- Cálculo de parámetros energéticos, potencia, rendimiento, instantáneos y acumulados con posibilidad de definir tarifas complejas en los términos de potencia y energía.
- Tratamiento flexible del juego de datos e incógnitas (Análisis Iinverso), para dar respuestas inmediatas problemas de diseño, regulación y optimización que de otra manera requerirían un tedioso, o impracticable, proceso de prueba y error.

La posibilidad de ensayar, antes, durante y después de la construcción de que la red, el comportamiento real del conjunto del sistema y de todos sus componentes, ante cualquier tipo de estado de demanda y la posibilidad de modificar ágilmente los detalles constructivos, recibiendo de forma interactiva la respuesta del sistema a dichos cambios, constituye un poderoso instrumento de ingeniería que incrementa la productividad del proyectista, la fiabilidad del diseño y la optimización hidráulica y energética de la gestión.

APLICACIONES DE LAS HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS.

Algunas de las aplicaciones más frecuentes de estos recursos, completados con las herramientas de dimensionado óptimo, en la fase de diseño y ejecución, así como las aplicaciones ligadas a la gestión del sistema una vez operativo, se enumeran en los siguientes párrafos.

VERIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO DE RESULTADOS DE DIMENSIONADO OPTIMIZADO

- Comprobación de ausencia de errores en la carga de datos
- Verificación de satisfacción de presiones de consigna
- Identificación de zonas con estrangulamientos y otras disfunciones
- Diagnosis del origen de las disfunciones
- Definición de medidas correctivas o paliativas de las disfunciones (estructurales u organizativas, turnos, del riego)
- Validación de los Caudales de Diseño y caudales de cabecera
- Influencia de variaciones en las alturas piezométricas disponibles

ESTUDIO DE VARIANTES EN EL DISEÑO Y GESTIÓN

- Alternativas de operación de la red (bombeo directo o a balsa, riego a la demanda o a turnos)
- Estudio de sus posibles sectorizaciones en distintos niveles de presión
- Selección de las tarifas más adecuadas
- Selección de la Jornada de Riego
- Influencia de trazados alternativos
- Influencia de rangos diámetros y Material empleados
- Introducción de nuevos ramales
- Estudio de localización de depósitos
- Estudio de múltiples puntos de alimentación de la red
- Influencia de niveles en los depósitos en el comportamiento de la red
- Cálculo del volumen de los depósitos
- Introducción de nuevas conexiones o tuberías

ANÁLISIS RELATIVOS A LOS PUNTOS DE DEMANDA

• Especificación de las dotaciones en función de los parámetros agronómicos

- Estudio de la influencia del grado de libertad en las tomas
- Distribución de presiones y caudales en la red dadas bajo distintas dotaciones en los hidrantes
- Valores máximos extraíbles por cada usuario particular
- Determinación de caudales reales extraídos en emisores
- Efecto del reagrupamiento, incorporación o supresión de hidrantes
- Introducción de nuevos consumos
- Variación de los cultivos predominantes
- Predicción de caudales efectivamente suministrados en hidrantes carentes de reguladores de presión activos
- Simulación y localización de fugas

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

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

ESPECIFICACIÓN DE CONSIGNAS

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

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

VALORACIÓN DE LOS EFECTOS DEL DETERIORO DE LA RED

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

APLICACIONES EN LA GESTIÓN DE REDES

- Planificación de operaciones rutinarias
- Planificación de actuaciones de emergencia
- Actualización de las consignas de regulación y control
- Detección e identificación de disfunciones sobrevenidas
- Supervisión y telecontrol
- Sistemas de apoyo a la decisión
- Entrenamiento de operadores.
- Monitorización completa de la red
- Definición de modificaciones
- Gestión de excesos de demanda en periodos punta

ANÁLISIS INVERSO

- Formulación de las curvas de consigna de las estaciones de bombeo para seguir las evoluciones temporales de la red
- Determinación de los niveles de presurización necesarios para garantizar los caudales demandados a las presiones requeridas en los puntos más desfavorables de la red

- Actuaciones precisas de regulación en válvulas o bombas para llenar o vaciar múltiples depósitos a un ritmo dado
- El valor de consigna de las válvulas reguladoras de presión requerido para proteger un cierto sector
- El tipo de tubería (diámetro, *Rugosidad* o longitud), y grado de apertura de válvulas reguladoras necesarios para cumplir cierto suministro
- Calibración de parámetros del modelo de la red
- Detección de fugas mediante la medida simultánea de presiones y caudales en ciertos puntos de la red y el cálculo inverso de los coeficientes de pérdidas en los puntos de posible fuga
- Reducción de diámetros de arterias mediante ubicación de *Elementos* que produzcan mallados tendentes a la uniformizar o elevar presiones

PRESTACIONES DE LAS HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS.

Se reseñan a continuación las prestaciones y recursos principales accesibles para el análisis hidráulico/energético.

NODOS DONDE LA ALTURA PIEZOMÉTRICA ES IMPUESTA.

Embalse: Altitud de lámina libre constante dada.

Nodo de Presión Conocida: Cota y altura de Presión Conocida constante dadas.

Balsa: Establecida en términos de cubicación (volumen almacenado en función de nivel) para un mínimo de tres niveles, cota de solera y el nivel inicial. En el análisis de redes con simulación temporal, GESTAR 2008 calculará la evolución del nivel y volumen almacenado a lo largo del tiempo.

NODOS DONDE LA DEMANDA ES IMPUESTA.

Nodos de Consumo Conocido: El consumo es conocido, e independiente de la presión local. Se especifica la dotación máxima y la demanda instantánea. Opcionalmente, si se trata de un hidrante de riego, pueden ser cargados los datos de la parcela servida (superficie, caudal ficticio continuo, presión de consigna) y de la red (Jornada de Riego), obteniéndose la probabilidad de apertura y el Grado de Libertad de la demanda. Alternativamente se puede fijar el Grado de Libertad de la demanda y obtener la dotación requerida. Si el consumo no se realiza a la demanda, sino por medio de turnos establecidos, el *Nodo* puede ser asignado a un cierto turno.

Nodo de Unión: No existe consumo.

NODOS DONDE LA DEMANDA DEPENDE DE LA PRESIÓN DE ALIMENTACIÓN:

Emisores: Todo tipo de componentes con un caudal emitido, Q, dependiente de la altura de presión de alimentación, H, según la relación $H = KQ^N$. En particular los valores de K y N para aspersores seleccionados de la base de datos correspondientes, en forma de tablas, caudal emitid/presión, se calcula y automáticamente. Si dicha base de datos contiene información del alcance del emisor en función de la presión, el alcance correspondiente a la presión calculada podrá ser evaluado y representado gráficamente. Pueden añadirse propiedades de un conducto de alimentación asociado, con todas las características de los *Elementos* tipo *Tubería*. Si el consumo se realiza por medio de turnos establecidos, el *Nodo* puede ser asignado a un cierto turno.

Hidrantes Reguladores: Poseen un comportamiento híbrido combinando el comportamiento de *Nodo* de *Consumo Conocido*, cuando la presión es superior a cierto umbral (presión de consigna), con el *Nodo* emisor, cuando la presión desciende por debajo de la presión de consigna. Si el consumo no se realiza a la demanda, sino por medio de turnos establecidos, el *Nodo* puede ser asignado a un cierto turno.

Aspersores: Constituye un tipo particular de emisor en que el punto de emisión se representa en el mismo *Nodo* de inserción del emisor a la red, *Nodo de Unión*, facilitando su representación y configuración en el diseño de riegos en parcela con cientos o miles de componentes.

TIPOS DE ELEMENTOS ADMITIDOS.

Tuberías: Conducciones de sección constante, con opciones para incorporar pérdidas de carga singulares y válvulas de estrangulamiento. Los valores de *Diámetro Interior* y *Rugosidad* pueden ser cargados de la *Base de Datos de Tuberías*, en función de fabricante, *Material* y *Timbraje*, o impuestos por el usuario. Opcionalmente en cada *Tubería* puede incorporarse un número arbitrario de accesorios y una válvula de estrangulamiento (o de retención) con grado de apertura variable con pérdidas singulares tipo $H = k \frac{V^2}{2g}$ así como pérdidas singulares generalizadas de formulación

 $H = KQ^{N}$. Los coeficientes k de las pérdidas singulares en accesorios se comunican automáticamente desde las bases de datos parametrizadas en función del tipo de

Elemento singular. En el caso de válvulas los valores de k se computan como: $\frac{1-C_d^2}{C_c^2}$

estando el coeficiente de descarga $C_d(\alpha)$ comprendido el intervalo (0,1), y siendo función del grado de apertura α y tipo de válvula. $C_d(\alpha)$ se carga desde las bases de datos correspondiente a válvulas. Alternativamente, los valores de K y N, que reproducen la disipación de altura piezométrica en dispositivos cualesquiera, deben ser suministrados por el usuario en las ventanas de diálogo correspondientes, con utilidades de ajuste a datos experimentales. Cada *Tubería* admite un dispositivo lógico retención y de cierre independientes y registra el caudal de diseño (habilitado para la fase de dimensionado) y la celeridad, para facilitar la migración de los resultados a paquetes de análisis de transitorios. **Bombas:** Elementos de impulsión definidos en términos del incremento de altura energética en función del caudal considerando, opcionalmente, el consumo energético total (o rendimiento) y el NPSHR. Las curvas características del *Elemento* pueden ser cargadas mediante valores tabulares definidos por el usuario, o automáticamente, desde la *Bases de Datos de Bombas*, que facilita recursos adicionales de selección de bombas adaptadas a un punto nominal. Cada *Bomba* lleva incorporada implícitamente un dispositivo lógico de retención. Las curvas características se modelizan mediante splines, permitiendo un ajuste preciso en todo el rango de caudales para cualquier tipo de geometría de la curva (máximos, mínimos, puntos de inflexión). Gracias a ello GESTAR 2010 dispone en exclusiva una sencilla forma de modelización detallada del funcionamiento conjunto de estaciones de bombeo, realizada definiendo un pseudo-*Bomba* que adopta como curvas características las curvas conjuntas de altura-caudal y potencia-caudal, que GESTAR 2010 suministra directamente en el módulo "Estaciones de bombeo", en función de la curva de consigna, tipo y número de grupos, y tipo de regulación.

Válvulas automáticas reguladoras: Reductoras de presión, sostenedoras de presión, limitadoras de caudal, y combinaciones admisibles de las mismas, configuradas mediante algoritmos que permiten una correcta implementación de los estados operativos y límites de todas ellas en numerosos contextos, incluyendo su ubicación en ramales. Los coeficientes de pérdida de carga K, para posiciones de apertura total pueden introducirse manualmente o desde la base de datos de válvulas reguladoras.

Líneas de Emisores: *Tuberías* con emisión continua de caudal por unidad de longitud q, donde el caudal emitido no es constante, sino dependiente de la presión local a través de relaciones del tipo: $q = K_d H^x$

Se aplica un modelo integro-diferencial que permite calcular la distribución de presiones y caudales a lo largo de la *Línea de Emisores* y evaluar los caudales localmente emitidos. Cuando las *Líneas de Emisores* tienen en el extremo final cerrado, se admite la definición de varios subtramos con propiedades homogéneas en cuanto al tipo de emisor y espaciamiento, pendiente, *Diámetro Interior* y *Rugosidad*. Si el extremo final tiene otro tipo de conexión (por ejemplo, a otra *Línea de Emisores* o *Tubería*) se admite un solo tramo y se detecta automáticamente si existe alimentación por uno o ambos extremos, y en este último caso se realiza la simulación del comportamiento del emisor detectando el punto interno de velocidad nula (punto neutro).

HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS HIDRÁULICO

CONFIGURACIÓN ESCENARIOS DETERMINISTAS

Escenario estacionario: Apertura/cierre de *Nodos* de *Consumo Conocido* e hidrantes reguladores con "point & clic" o mediante orden ejecutada por identificador.

Tabla de programación en evolución temporal cuasi-estacionaria: especificación del intervalo de apertura temporal de cada *Nodo* con demanda de caudal, así como de
aspersores y *Elementos Tubería* y grupos de bombeo. Intervalos y duración configurables por lapso de tiempo (o número de intervalos) y amplitud del intervalo.

Programación de turnos: Especificación del número de turnos, duración de cada uno de ellos y definición de *Nodos (Consumo Conocido, Hidrante Regulador, Aspersor)* pertenecientes al turno. Extensión de la tabla de programación temporal para programar el inicio del cada turno.

Instrucciones lógicas en evolución temporal cuasi-estacionaria: Órdenes de control, complementarias de las tablas de programación, que cualifican la apertura/cierre de *Nodos* con demanda, *Tuberías* y *Bombas*, en función del valor de las variables características (presión o caudal) respecto a valores de control en *Nodos* y *Elementos*.

Factores de modulación de la demanda.: Para cada *Nodo* de demanda es posible definir factores de modulación de la dotación asignada, para reproducir la operación de hidrantes compartidos, variaciones estacionales, etc.

Generador de tarifas energéticas. Pueden definirse tantas tarifas como se deseen (por día de la semana, por mes, por temporada,..) con 24 periodos de discriminación cada una de ellas, tanto en el término de energía consumida como de potencia, especificándose además la potencia máxima a contratar en cada periodo.

CONFIGURACIONES ESCENARIOS ALEATORIOS.

Generación de escenarios aleatorios de demanda: Aparecen distribuciones de tomas (*Nodos* de demanda) abiertas o cerrados al azar, satisfaciendo un porcentaje preestablecido de tomas abiertas y contemplando la probabilidad de apertura de cada toma.

Asignación de estados de demanda incondicionales: Se permite fijar estados de apertura o cierre no afectados por la generación de estados de demanda aleatoria, que posibilitan analizar escenarios mixtos, que combinan condiciones deterministas (turnos) y aleatorias de la demanda.

Analizador de redes: Mediante la generación de un número elevado de escenarios aleatorios (con las restricciones marcadas por los *Nodos* en estado de demanda incondicional) se determinan para todas las variables, los valores máximos, mínimo y promedio. Opcionalmente se pueden separar los escenarios que generan alarmas y además almacenarlos individualmente para su posterior análisis.

ALARMAS E INFORMES

Configuración de alarmas: Opciones para fijar un rango de valores admisibles para las variables: velocidad en *Tuberías*, en aspiración en *Bombas*, en *Válvulas*, en *Líneas de Emisores*, pérdidas de carga por unidad de longitud, presión en *Nodos* de *Demanda*, en *Nodos de Unión*, y caudal en *Hidrantes*. Además pueden definirse alarmas de umbral: niveles máximo-mínimo en *Balsas* sobrepasados, cavitación en *Bombas*, *Potencia Contratada* sobrepasada, presiones negativas en cualquier punto y presión en *Hidrantes* por debajo de la *Presión de Consigna* (con tolerancia ajustable). Si alguna alarma se produce, se marca gráficamente el componente de forma gráfica y se anota un registro de informe.

Informe de alarmas: Listado exhaustivo de las alarmas (exportable a fichero ACCESS) generadas en los sucesivos escenarios de evolución temporal o aleatorios, con indicación de nº de escenario, componente que ha generado la alarma, valor de la variable que produce la alarma y unidades de la variable,. Incluye un resumen de número de infracciones por componente (*Elemento* o *Nodo*) y porcentaje de infracciones en presión en *Nodo*s de demanda.

HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS HIDRÁULICO INVERSO

El número de requisitos duplicados en los *Nodos* "objetivo" debe ser igual al número de grados de libertad de control (no confundir con Grado de Libertad de la demanda en un hidrante de riego) disponibles para encontrar el ajuste.

NOTA: Requisitos duplicados impuestos arbitrariamente pueden no ser coherentes, conduciendo a problemas mal puestos, sin solución en el espacio de soluciones físicamente viables.

Nodos de Doble Condición: Nodos donde simultáneamente se especifican condiciones demanda y presión a cumplir simultáneamente en una red en servicio. Constituyen las ligaduras o condicionantes para cuya consecución habrán de ajustarse los parámetros de libres (grados de libertad para control) en otros *Nodos Libres* y *Elemento Libres*, o *Grupos Tuberías Libres*.

Nodo Libre: Grado de libertad para control asociado a valores puntuales que determinarán la presión y caudal que deberá suministrase en el *Nodo* en cuestión para satisfacer los requisitos impuestos en los *Nodo*s de *Doble Condición*.

Elemento Libre: Grado de libertad para control asociado a *Elementos* en los que se terminará el salto de energía necesario y el caudal circulante necesario para satisfacer los requisitos impuestos en los *Nodos* de *Doble Condición*. Si el *Elemento* resultante es pasivo, se calcula en coeficiente dimensional de pérdidas (o si se suministran dos de los tres parámetros, longitud, *Diámetro Interior* y *Rugosidad*, se determinan el restante) y si el *Elemento* es activo, se calcula el punto de funcionamiento del equipo de impulsión requerido.

Grupo de Tuberías Libres: Conjunto de *Tuberías*, conexo o inconexo, que comparte: o bien el *Diámetro Interior* o bien la *Rugosidad*. El diámetro (o *Rugosidad*) común es el grado de libertad para control que se ajusta para satisfacer los requisitos impuestos en los *Nodos* de *Doble Condición*. Herramienta de utilidad para calibración de modelos, determinación de propiedades desconocidas *Tuberías*, ajuste de redes existentes. Debe evitarse formular problemas mal puestos (condiciones físicamente imposibles).

OTROS RECURSOS COMPUTACIONALES

Modulación de consumos: En los Nodos de demanda mediante un factor común

Cálculo automático: Se ejecuta una nueva simulación automáticamente cada vez que se cambia el estado de un componente o se realiza cualquier modificación en los datos constructivos.

Ajustes por mínimos cuadrados: Utilidades para ajustar una serie de puntos a una polinomio de segundo grado o a una función exponencial

Pérdidas de carga: Posibilidad de calcular las pérdidas de carga en *Tuberías* mediante diferentes expresiones: Hazen-Williams, Blasius, Manning, Darcy-Weisbach, con o sin inclusión de régimen laminar.

Cálculo de NPSHA: Si el NPSHR de las *Bombas* es introducido, y se activa la alarma de NPSH, el sistema dará una alarma si NPSHA < NPSHR

Parámetros: El usuario avanzado puede acceder a modificar diversos parámetros de ajuste de los cálculos

3.4 OPTIMIZACIÓN ESTACIONES BOMBEO Y EVALUACIÓN COSTE ENERGÉTICO

El programa informático GESTAR, a partir de su versión 2008 amplía y perfecciona las herramientas disponibles para evaluar de forma racional y detallada las eficiencias y costes energéticos en redes de riego con sistemas de impulsión. Los resultados son de interés tanto en la fase de diseño, en términos de optimización de las redes y del diseño de las estaciones de bombeo correspondientes, como en los procesos de auditoria y formulación de mejoras en las instalaciones y en pautas de explotación de las redes en funcionamiento.

Los procesos de implantación de nuevos regadíos y, especialmente, la modernización de los regadíos tradicionales mediante sistemas de riego a presión requieren en numerosas ocasiones de sistemas de bombeo, bien hacia balsas de regulación, bien directamente a la red, involucrando consumos de energía. Estos aspectos están recobrando creciente atención si cabe debido al encarecimiento de los costes de generación eléctrica y a las periódicas reestructuraciones de las tarifas eléctricas. Por otro lado, en diversas redes en funcionamiento, se precisa mejorar una baja eficacia energética debida a divergencias entre el patrón de explotación que se da en la práctica respecto al proyectado, o a un diseño del sistema deficiente, por infra o sobredimensionado. Ello justifica la necesidad de utilizar herramientas de diseño y gestión avanzadas que permitan optimizar los procesos de diseño gestión de las correcta definición de todos los componentes, la optimización de su regulación y la obtención de evaluaciones fiables de los costes, posibles ahorros y máximas eficiencias energéticas.

CURVA DE CONSIGNA

La *Curva de Consigna* de la estación de bombeo para sistemas a la demanda puede ser impuesta en GESTAR por el propio usuario, si ésta es conocida, o también puede calcularse mediante la herramienta que incorpora la aplicación para determinarla automáticamente.

CURVAS DE ACTUACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

En virtud de la *Curva de Consigna* adoptada, y de la composición y tipo de regulación de los equipos de impulsión, GESTAR calcula la familia completa de "*Curvas de Actuación*" de la estación de bombeo, consistente en la colección de funciones que caracterizan el comportamiento conjunto de la estación, en función del caudal de impulsión total q (Altura de Elevación Neta, H_t ; Potencia Absorbida Total, P y Rendimiento Global, η), y de cada uno de los grupos de bombeo integrantes (incluyendo las rpm en función del caudal, q, para los grupos de velocidad variable).

GESTAR posee total flexibilidad y generalidad para configurar cualquier diseño de estación de bombeo, permitiendo composiciones con números arbitrarios de bombas de velocidad fija (BVF) y de velocidad variable (BVV), de igual o diferente tamaño, pudiendo considerar, en el caso de que haya varias BVV, la actuación de los variadores de forma secuencial (una BVV regulando en caudal en cada momento) o simultáneamente (varias BVV regulando simultáneamente con la misma velocidad de giro). El programa suministra además una propuesta (modificable por el usuario) de la secuencia de arranque de la composición.

EVALUACIÓN CONSUMOS Y GASTOS ENERGÉTICOS

Si bien el cálculo y comparación de las *Curvas de Actuación* de diversas alternativas de configuración de una estación de bombeo aporta información relevante para la toma de decisiones sobre su composición y regulación, la valoración realista de los gastos energéticos de cada alternativa requiere considerar además la distribución de demandas de caudal, ya que los requisitos de presión, dados por la *Curva de Consigna*, y los rendimientos asociados, no son en general constantes, sino función del caudal bombeado, y a su vez dependen de la composición y regulación seleccionada.

La potencia absorbida por la estación de bombeo, P(q), es una de las *Curvas de Actuación* obtenida directamente de la composición y regulación elegida para seguir la *Curva de Consigna*, (hasta el funcionamiento del 100% de los grupos a su velocidad máxima, punto a partir del cual la altura de impulsión sigue la composición en paralelo de los grupos),

En bombeos directos, la energía consumida depende de la potencia instantánea absorbida, que es función del caudal, q, bombeado en cada momento, y del tiempo de funcionamiento de la estación de bombeo en dicho régimen, por lo que el consumo energético se debe calcular de mediante integración, obteniéndose el *Consumo Energético Detallado* (*CED*_{kWh}), en kWh.

La especificación de la demanda de caudal en cabecera a lo largo del tiempo equivale a conocer la distribución de la frecuencia de los caudales servidos, en términos de la *Función Densidad de Probabilidad (FDP)* de la demanda (López Cortijo et al. 2007), (García et al. 2008).

Siendo *T*, el tiempo de riego total disponible en el periodo estudiado, según las definiciones dadas, el *Consumo Energético Detallado (CED*_{kWh}), en kWh en el periodo se calculará como:

$$CED_{kWh} = \int_{0}^{T} P(q(t)) \cdot dt = T \cdot \int_{0}^{T} P(q) \cdot \frac{dt(q)}{T} \cdot = T \cdot \int_{0}^{Qmax} P(q) \cdot FDP(q) \cdot dq$$

Ecuación 3-1Consumo Energético Detallado

Es importante destacar que el producto P(q)FDP(q) en la Ecuación 3-1, se asocia a la energía absorbida en un intervalo de caudal (q, q+dq).

En redes de riego a la demanda de tipo ramificado, los caudales en cabecera corresponden a una sucesión de diferentes escenarios aleatorios, que se modifican con la apertura y cierre de las tomas de riego. En consecuencia, el caudal en cabecera puede ser considerado una variable aleatoria continua, cuya *FDP* estima GESTAR por medio de la combinación de las *Funciones Densidad de Probabilidad* mensuales, de tipo Gaussiano, dependientes exclusivamente de las necesidades hídricas diarias de cada mes, para una red con dotaciones de los hidrantes, superficie de las parcelas y distribución de los cultivos dados. En redes de riego a turnos, o en sistemas en explotación en que existan registros experimentales de redes en explotación, la *FDP* puede introducida directamente una vez inferida de los calendarios de riego programados según los cultivos existentes y los turnos establecidos, o de dichos registros determinando la frecuencia de ocurrencia de cada caudal.

<u>CÓMPUTO REFINADO DE COSTES ENERGÉTICOS EN EL</u> DIMENSIONADO ÓPTIMO DE REDES CON BOMBEO DIRECTO.

En los procedimientos abreviados de optimización de redes de riego ramificadas con estaciones de bombeo directo, los *Consumos Energéticos* se computan de forma simplificada, suponiendo una *Curva de Consigna* plana (altura de impulsión constante, H_d , igual a la correspondiente a la presión de diseño para el caudal de diseño de la cabecera) y que el rendimiento conjunto de la estación de bombeo es un valor estimado asimismo constante, η_d , obteniendo una versión simplificada de la Ecuación 3-1 que computa el *Consumo Energético Simplificado (CES_{kwh})*:

$$CES_{kwh} = \frac{\gamma \cdot V}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p} H_d$$

Ecuación 3-2 Consumo Energético Simplificado

donde γ es el peso específico del agua (kgm⁻²s⁻²) y V el volumen bombeado en el periodo considerado (m³).

Si el resultado de la Ecuación 3-2 se multiplica por el precio medio ponderado del kWh, se tendrá una estimación del *Coste Energético Simplificado*, CES_{\bigoplus} Como se observa, para un mismo volumen a suministrar al año, y rendimiento supuesto, el *CES* crece linealmente con la altura de diseño, H_d y con el volumen anual, V.

La valoración detallada de los costes del consumo energético, mediante la Ecuación 3-1, es de aplicación asimismo en el proceso de dimensionado óptimo de redes de riego con impulsiones directas mediante la "técnica de barrido". En este método para una altura impulsión supuesta, Hx, se optimiza la red, y se obtiene la curva de consigna resultante. Con dicha curva de consigna y la(s) composición(es) de bombeo previstas se evalúa *CED* mediante Ecuación 3-1. Sumando a la misma los costes de amortización anual de la red correspondiente, se obtiene un valor del coste total asociado al nivel de impulsión supuesta. Haciendo variar Hx en un rango de posibles soluciones se encuentra el mínimo de la suma costes de amortización de las condcucciones y costes energéticos.



FIGURA 3.1 Resultados del dimensionado óptimo de redes con bombeo directo mediante el cálculo de costes energéticos detallados (CED) o simplificados (CES).

Se observa, FIGURA 3.1(Paño et al., 2009) (García et al, 2008), (López Cortijo et al. 2007), que mientras el consumo energético evaluado con **Ecuación 3-2 Consumo Energético Simplificado**, es rígidamente proporcional a la altura de diseño, H_d , en la evaluación refinada del mismo, **Ecuación 3-1Consumo Energético Detallado**, la tendencia del crecimiento de costes energéticos, en función de la altura de cabecera, H_d ,

es menos pronunciada, por lo que los óptimos encontrados mediante el *CED* son en ocasiones distintos de los encontrados al aplicar *CES*, presumiéndose en cualquier caso más realistas los primeros.

HERRAMIENTAS PARA EL MODELADO, REGULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE ESTACIONES DE BOMBEO

Se reseñan a continuación las prestaciones y recursos principales disponibles en GESTAR para el modelado, regulación y optimización de estaciones de bombeo, mediante obtención de *Curvas de Consigna*, *Curvas de Actuación*, *Función de Densidad de Probabilidad* de caudales (*FDP*), cuya conjunción establece los costes energéticos de un cierto periodo.

Selección de Bombas: Incorporación automática en los *Elementos* tipo *Bomba* de las curvas características de equipos de impulsión desde bases datos de bombas, mediante búsqueda directa por modelo o búsqueda de la bomba que mejor se adapta a un determinado punto de funcionamiento nominal.

Estimación de Curvas Características simplificadas: Se determinan curvas de tipo parabólico de una bomba tipo adaptada a un punto nominal de funcionamiento en función de parámetros básicos.

Obtención de Curvas de Consigna máxima, media y recomendada: Dada una red arbitraria con uno o varios puntos de altura piezométrica conocida se determinan las curvas de consigna máxima, mínima y recomendada de una estación de bombeo cualquiera que alimente la red mediante simulación de múltiples estados aleatorios, para cada porcentaje de demanda de caudal en la estación de bombeo.

Obtención de Curvas de Consigna con fiabilidad dada Del proceso de simulación de múltiples estados aleatorios se puede extraer la información necesaria para construir diversas curvas de consigna para un grado determinado de fiabilidad.

Curvas de Operación de la Estación de Bombeo: Cálculo de las curvas altura-caudal, potencia caudal, rendimiento caudal, velocidad de giro caudal, y puntos de transición de arranque-parada para grupos de bombeo con composiciones arbitrarias de bombas fijas y bombas de velocidad variable, del mismo o distinto tipo.

Determinación la *FDP* **de ocurrencia de caudales**: Para condiciones de riego a la demanda, en redes de riego ramificadas y alimentadas en un punto, se establece la función densidad de probabilidad del caudal en el punto de alimentación para una campaña de riego. Posibilidad de fraccionamiento según franjas valle, llano, punta.

Curvas de demanda impuestas: Introducción por el usuario de las curvas de densidad de probabilidad de la demanda, estimadas o experimentales.

Determinación de los consumos energéticos: Combinando las curvas conjuntas de la estación de bombeo (altura- caudal y potencia-caudal) y la función densidad de probabilidad de los caudales (con opción de fraccionamiento en franjas valle, llano, punta) se obtiene un cálculo de costes energéticos que refleja la dependencia de los resultados de las curvas características de las bombas, del número y tamaño de los equipos, de las estrategias de regulación empleadas y de la curva consigna de la red.

3.5 DISEÑO EN PARCELA

A partir de la versión GESTAR 2010 se incorporan nuevos módulos para el proyecto y modelización de redes de riego en parcela, de aplicación a coberturas totales por aspersión, riego por goteo y micro aspersión, en el contexto de parcelas e invernaderos, jardinería, campos de golf, zonas deportivas,...

La comunicación bidireccional con AutoCAD permite generar cartografías detalladas y planos constructivos sin esfuerzo.

La modelización hidráulica de emisores individuales o distribuidos con caudal emitido dependiente de la presión, suministra resultados precisos, interactivos y sensibles al contexto.

El análisis y simulación de las redes y los *Elementos* emisores, admite tener cualquier tipo de configuración, habitualmente ramificada en riegos agrícolas, y habitualmente mallada en riegos de jardinería.

En el dimensionado de los componentes y el análisis hidráulico y energético se reutilizan los potentes recursos de GESTAR para dimensionado óptimo y simulación, obteniendo diseños económicos y una exacta predicción de todos los parámetros hidráulicos, incluso en parcelas de planta y altimetría altamente irregular.

ATENCIÓN: Si bien esta versión del manual todavía no recoge todavía estas herramientas por encontrarse en fase de depuración, se lista continuación las características principales del módulo *Diseño en Parcela*.

Definición de turnos: Especificación del número de turnos, duración de cada uno de ellos y definición de *Aspersores* y *Nodos* pertenecientes al turno.

Generación de distribuciones de aspersores en AutoCAD: según el marco dado por el usuario, y ajustados a los contornos de planos parcela/sectores seleccionados, siguiendo líneas de orientación prefijadas, incluyendo el trazado de las tuberías terciaras de conexión. Ubicación automática de aspersores sectoriales en los contornos.

Generación de distribuciones de ramales en AutoCAD: según el marco dado por el usuario, ajustados los contornos de parcela/sectores siguiendo líneas de orientación prefijadas.

Importación de distribuciones de aspersores, goteros, y tuberías primarias, secundarias y terciarias de coerción, desde AutoCAD a GESTAR, generando la conectividad de los tramos y las categorías de los tipos de tuberías.

Dimensionado óptimo de Tuberías Secundarias y Terciarias (de forma optativa) de sectores de riego en caso de coberturas de riego aspersión en topología ramificadas.

Dimensionado óptimo de Tuberías Primarias por turno con topología ramificada.

Modelización de todo tipo de componentes adicionales: válvulas reguladoras, equipos de bombeo, válvulas de corte.

Integración de bases de datos accesibles al usuario (aspersores, goteros, válvulas, *Bombas*, tuberías,...).

Simulación de turnos automática, mediante órdenes de apertura/cierre del turno completo.

Cálculo de caudales emitidos en cada aspersor, así como el radio de alcance, en función de la presión local.

Cálculo de la distribución de presiones y caudales emitidos a lo largo de cada *Línea de Emisores*

Extensión de la tabla de programación temporal para programar el inicio del cada turno.

Exportación a AutoCAD: Generación de planos con representación de tuberías emisores, y datos constructivos y operativos.

Mediciones: Generación de listados con mediciones, descripción de componentes y presupuesto.

3.6 BASES DE DATOS

GESTAR facilita y agiliza el trabajo, evitando simultáneamente posibles errores en la carga de datos, ofreciendo al usuario todos los parámetros hidráulicos y datos técnicos habituales que afectan al comportamiento y resultados hidráulicos de las redes de distribución, estructurados en bases de datos que transfieren la información directamente a los formularios correspondientes. Estas bases de datos relacionales (ACCESS) son abiertas, vienen configuradas inicialmente en el instalador con datos básicos a modo de ejemplo, y pueden ser modificadas, ajustadas y ampliadas según las necesidades del usuario y del proyecto. Para ello el usuario puede acceder directamente a la estructura relacional de las tablas, o bien recurrir a las herramientas de modificación incorporadas en GESTAR (recomendado).

Tuberías: *Diámetro Interior, Rugosidad* y coste por ml en función de fabricante (otra cualquier otra categoría) Material, Timbraje y DN.

Pérdidas singulares: Coeficiente adimensional en función del tipo de singularidad y un parámetro asociado.

Propiedades de fluidos: *Viscosidad Dinámica, Densidad* y *Presión de Vapor* a la temperatura de trabajo.

Válvulas estrangulamiento: *Coeficiente de descarga Cd* para cómputo de pérdidas singulares en función del tipo de válvula, subtipo y grado de cierre.

Válvulas regulación automática: Pérdidas singulares para válvulas hidráulicas de regulación completamente abiertas, según tipo y tamaño.

Tarifas eléctricas: Precio del kWh y del kW instalado, según el tipo de tarifa y consideración de bonificaciones y recargos.

Bombas: Curvas características de altura de impulsión, potencia consumida y NPSHR en función del caudal, según el fabricante (o cualquier otro parámetro) y modelo.

Aspersores: Caudal emitido, alcance y pluviometría en función de la presión de alimentación, según cada fabricante (o cualquier otro parámetro) y modelo

Líneas de Emisores: Caudal emitido, en función de la presión, para cada fabricante (o cualquier otro parámetro) y modelo, insertado en tuberías porta goteros identificadas en función del fabricante, *Material* y *Diámetro Nonimal*.

3.7 COMUNICACIONES

GESTAR puede intercambiar información en varios formatos (documentos Office: EXCEL, ACCESS, WORD y ficheros texto,..) y comunicarse directamente con diverso software.

La mayor parte de la información se estructura en tablas compatibles con formato EXCEL, y diversos ficheros de resultados, finales e intermedios, se guardan o vuelcan automáticamente a ficheros EXCEL.

La programación de riegos y modulaciones de la demanda en los análisis temporales, la definición de alarmas y el listado de avisos por alarmas encontradas se exporta y/o importa en formato ACCESS, permitiendo el intercambio de información con otros entornos y el procesado posterior de los resultados. Estas bases de datos son compatibles con la arquitectura de TELEGESTAR, que reutiliza su formato, evitando que los sistemas d telecontrol y telegestión reforzados con las funciones de TELEGESTAR tengan que crear formularios específicos.

En el caso general, GESTAR es capaz de comunicarse con cualquier sistema GIS, CAD, SCADA, a través de bases de datos ACCESS. (El caso de los SCADA, programas de telecontrol y gestión, la comunicación directa interactiva se desarrolla específicamente mediante la solución TELEGESTAR, con otros formatos posibles para las bases de datos, SQL, XML). Además, existen herramientas de conversión directa entre AutoCAD 2002-2008 (comunicación bidireccional) y EPANET 1.1e (exportación), que seguidamente se enumeran:

E/S ACCESS/GESTAR: Exportación desde GESTAR e importación a GESTAR de modelos de red, tanto de datos completos como resultados, utilizando ficheros ACCESS 97, con tablas que permiten configurar todo tipo de *Nodos* y *Elementos* (excepto *Líneas de Emisores*, que se encuentra pendiente) así como su conectividad y topología. Desde cualquier GIS/CAD (o cualquier entorno que permita estructurar información en tablas) que contenga los datos cartográficos y constructivos mínimos necesarios puede generarse automáticamente el modelo en GESTAR, utilizando esta la base de datos como entrefase de comunicación. La exportación a base de datos de una red GESTAR cualquiera, crea un fichero que puede utilizarse como plantilla para rellenar desde otras

aplicaciones todos los datos necesarios de la red a intercambiar red. La exportación/importación de los modelos de red a ACCESS 97 permite realizar operaciones de búsqueda y/o sustitución con todo tipo de filtros y condicionantes sobre la base de datos, para una posterior importación de los cambios realizados.

AUTOCAD 2002-2008: Exportación de modelos de red desde GESTAR a ficheros *.dwg de AUTOCAD 2002 (o superior), e importación de ficheros *.dwg, que contengan la topología de una red de *Tuberías* y *Nodos*, a formato de modelo de red GESTAR (*.red). En la exportación, opcionalmente, el fichero dwg escribe sobre las *Tuberías* y *Nodos* hasta cuatro parámetros constructivos o datos (p.e.. el ID, *Material-Timbraje* y DN en *Tuberías*, ID, y por otro lado el ID, dotación, presión de consigna, cota, en hidrantes) de manera que se genera automáticamente planos constructivos completos o planos temáticos sobre alguna variable. En la importación las líneas y polilíneas (2D-3D) de las capas seleccionadas se transforman en *Tuberías* de propiedades preseleccionadas, y los bloques de las capas adecuadas puede incorporarse automáticamente en el modelo distintos tipos de *Tuberías* y *Nodos*. Si los extremos de las polilíneas no guardan conectividad con los bloques o poli-líneas adjuntas (salvo una tolerancia) la *Tubería* resultado de transformación de la línea o poli-línea incorpora un *Nodo* extra.

EPANET: Se exportan los componentes mayoritarios en las redes a los formatos *.INP y *.MAP de la versión EPANET 1.1e (compatibles con versiones posteriores de EPANET). Las *Tuberías* se traducen al bloque [PIPES] de EPANET 1.1e, los *Nodos* de demanda (*Consumo Conocido* e *Hidrante Regulador*) y los *Nodos de Unión* se asignan al bloque [JUNCTIONS] y los *Nodos Presión Conocida, Balsa* y *Embalse* al bloque [TANKS]. Los otros tipos de componentes no se exportan, pero siendo minoritario habitualmente, pueden incorporarse de forma manual en EPANET

4 PROTOCOLO DE EXPLOTACIÓN

El correcto diseño hidráulico de redes a presión exige cubrir al menos tres fases: dimensionado de conductos y equipos, análisis hidráulico y energético y análisis de transitorios. Las fases de análisis subsiguientes al dimensionado, a su vez, confirman o modifican el dimensionado inicial, posibilitan diseñar correctamente los *Elementos* de protección y control y permiten predecir, mediante técnicas de simulación, el comportamiento del sistema con todos sus dispositivos, tanto en situaciones rutinarias como excepcionales. La necesaria combinación del proceso de dimensionado óptimo con el de simulación y análisis hidráulico del sistema, induce no sólo diseños más seguros y de mayor calidad, sino en ocasiones, soluciones operativas más económicas que las directamente generadas por un algoritmo de optimización.

En este capítulo se describe conceptualmente un protocolo de uso de las herramientas y módulos GESTAR para la explotación eficaz de sus recursos.

Este protocolo puede aplicarse en todo o en parte según las necesidades del caso, recomendándose su seguimiento íntegro en los casos de nuevos diseños.

En la carpeta de instalación de la aplicación

C:/Archivos de Programa/GESTAR/ Worked Example

se encuentra un ejemplo de trabajo completamente desarrollado que, paso a paso, ilustra al usuario un ejemplo diseño en todas sus fases. La aplicación de cada paso del procedimiento ilustrado requiere aplicar herramientas o recursos cuyo manejo se documentan en este Manual de Usuario.

En dicha carpeta se ubica además toda la información necesaria para seguir el caso. Así se dispone del documento Worked_example.pdf, que sirve de guía en el proceso y recopila datos de partida y resultados intermedios. Los diversos ficheros *.red recogen resultados de las diversas etapas, y se incluyen además diversos ficheros EXCEL y ACCESS que contienen información requerida o resultados. El contenido y utilidad de todos ellos se describe en la citad guía Worked_example.pdf.

TEXTO PROTOCOLO PENDIENTE INCORPORAR

5 BARRA DE HERRAMIENTAS

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

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

	🙈 🔍 🔛 🗇 🞯 📗 🗄 🐹 💷 🖀 🎬 Ident. 🗨 😭 [Ident. 💌
💋 🖾 P 🕔	▏▟▎▙▎▆▎▆▎▇▎▓▏▅▆▋ዏ▌▙▎▟▝▋	

FIGURA 5.1 Barra de Herramientas.

La *Barra de Herramientas* (FIGURA 5.1) consta de dos filas de botones o iconos. La fila superior siempre aparece visible, mientras que la fila inferior sólo está disponible cuando la ventana gráfica está activada, es decir, cuando se está creando, analizando o visualizando una red.

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

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

5.1 ÍNDICE DE ICONOS

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

FILA SUPERIOR:

D	NUEVA RED (CTRL + N)	54
F	ABRIR RED (CTRL + O)	56
	GUARDAR RED (CTRL + S)	57
中,	IMPORTAR / EXPORTAR RED AUTOCAD	57
S	IMPRIMIR	58
Ж	CORTAR (CTRL + X)	59
	COPIAR (CTRL + C)	59
Ê.	PEGAR (CTRL + V)	59
5	DESHACER	60
2	REHACER	60
#	BUSCAR NODO/ ELEMENTO (CTRL + F)	60
€,	AUMENTAR	61
Q,	DISMINUIR	61
	DIMENSIONADO DE LA RED	61
6	ESCENARIOS ALEATORIOS	66
0	EVOLUCIÓN TEMPORAL	69
	CALCULAR	71
	EDITAR LEYENDA DE COLORES (CTRL + L)	71
X	ELIMINAR RESULTADOS	72
	RESULTADOS	73
atres -	GRÁFICOS	75
	ALARMAS	76
N	VER VALORES EN NODOS (F7)	76
E	VER VALORES EN ELEMENTOS (F8)	76

FILA INFERIOR:

3	SELECCIONAR	77
Ds	SELECCIÓN RECTANGULAR	77
the	SELECCIÓN IRREGULAR	79
Α	COMENTARIOS	79
×	ELIMINAR NODO/ ELEMENTO	80
	PARTIR TUBERIA	80
M	ABRIR/ CERRAR HIDRANTES	81
P	RESTRICCIONES DE ESCENARIOS ALEATORIOS	81
٠	NODO DE UNIÓN	83
	NODO EMBALSE	84
¥	NODO BALSA	84
	NODO DE PRESIÓN CONOCIDA	86

•	NODO DE CONSUMO CONOCIDO.	87
	NODO HIDRANTE REGULADOR	91
	NODO DE DOBLE CONDICIÓN	<u>93</u>
	NODO LIBRE	94
米	NODO EMISOR	95
8	ELEMENTO TUBERÍA	99
	ELEMENTO GOTERO	112
Q	ELEMENTO BOMBA	116
	ELEMENTO VÁLVULA	121
2	ELEMENTO LIBRE	125
22	GRUPOS DE TUBERÍAS LIBRES	127

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

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

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

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

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

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

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

5.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS ICONOS

FILA SUPERIOR:

D NUEVA RED (CTRL + N)

Permite crear una red en la ventana gráfica de GESTAR utilizando las herramientas proporcionadas por esta aplicación.

Ø Gestión Base Datos Tuberías. Red actual: . Base Datos:			×
D Nuevo ▼ Agregar BD Existente Duplicar Base D	Jatos Eliminar	Editar Editar Tabla Tubería	s Asociar a Red Nueva
Garger bo Exsert Depines base b Garger bo Exsert State b Garger bo Exsert Depines base b Garger bo Exsert State b Garger bo Exsert Depines base b Garger bo Exsert State b Garger bo Exsert Depines bo Exsert Garger bo Exsert State b Garger bo Exsert Depines bo Exsert Garger bo Exsert Depines bo Exsert <th>Base Datos: Materiat Timbraje: Tuberías: Aceptar</th> <th>Cancelar Ayuda</th> <th>m):</th>	Base Datos: Materiat Timbraje: Tuberías: Aceptar	Cancelar Ayuda	m):

FIGURA 5.2 Gestión bases de datos Tuberías.

A través del cuadro de diálogo representado en FIGURA 5.2, el usuario deberá asociar una *Base de Datos de Tuberías* de nueva creación o existente a la nueva red (ver apartado 11.1 BASES DE DATOS DE TUBERÍAS, pág. 322).

Seguidamente aparecerá un cuadro de diálogo (FIGURA 5.3) que permite la configuración por el usuario del origen de coordenadas y coordenadas máximas exactas para la ventana de representación gráfica, así como el área visible inicialmente. Estas variables pueden ser modificadas posteriormente llamando a la opción *Ver/ Escala* de la barra de menús.

×(m) 1000	Forzar	
ユ(m) 1000		
Porcentaje en ventana: 100	% •	
Drigen		
Crigen (m)		

FIGURA 5.3 Escala.

- Coordenadas Máximas del Mapa. Desde este cuadrante se introducen las coordenadas del vértice superior derecho de la zona visualizada en pantalla, coordenadas máximas. La opción *Forzar* permitirá al usuario modificar las zonas que se muestran en pantalla del mapa de la red, en uno o dos ejes. Si desea *Forzar* las dimensiones ambos ejes, la zona XMax-X Origen, corresponderá a la amplitud horizontal de la zona de mapa mostrada en pantalla a Zoom Nulo, e YMax-Y Origen corresponderá a la amplitud vertical de la zona de mapa mostrada en pantalla de proporciones deformadas. Si prefiere una visualización de la red en proporciones reales, ajustada a las resoluciones vertical y horizontal del monitor, deberá seleccionar *Forzar* una sola de las dos dimensiones, estableciendo el programa la otra coordenada máxima para que la relación de distancias mostradas en el mapa de la red en pantalla, en XMax e YMax, coincida con la relación de resoluciones horizontal/vertical.
- Porcentaje en Ventana. La barra de "scroll" habilitada permite seleccionar el fragmento de mapa que se desea aparezca en pantalla inicialmente. GESTAR visualiza en la ventana de la derecha de forma interactiva al porcentaje de mapa que corresponde la elección.
- ♦ Coordenadas Mínimas del Mapa. Se debe definir las coordenadas del Punto Origen la zona de visualización, origen que coincidirá con el vértice inferior izquierdo del mapa. Se admiten coordenadas negativas, si bien exclusivamente se crean Nodos y vértices en zonas con coordenadas positivas. El mapa de la red en

pantalla mostrará como máximo, con Zoom Nulo, la zona de la red comprendida entre XOrigen, XMax, e YOrigen, YMax.

◆ Desplazar Origen. Esta casilla será útil en consultas posteriores. Al pulsarla el usuario encontrará el cuadro de diálogo de la FIGURA 5.4 donde se especificarán los desplazamientos, bien sea positivos o negativos, en dirección X e Y de las coordenadas (X Origen, Y Origen) del actual Punto Origen de la visualización. Al pulsar el botón aceptar en la ventana Desplazamiento, quedarán reflejados los nuevos valores en el cuadrante destinado al Punto Origen de visualización en la ventana de la FIGURA 5.3.



FIGURA 5.4 Desplazamiento del Origen de Coordenadas.



ABRIR RED (CTRL + O)

Sirve para introducir en la ventana gráfica una red creada previamente.



FIGURA 5.5 Cuadro de diálogo abrir red.

Una vez introducida la red, ésta puede ser analizada y modificada con las herramientas de GESTAR. Los ficheros que contienen la topología constructiva de las redes de GESTAR se denominan *Ficheros de Red* y su extensión es ".red".

GUARDAR RED (CTRL + S)

Al pulsar en este icono, la red que aparece en la ventana gráfica actual será guardada directamente con el nombre y la ubicación previos. En el caso de tratarse de una red nueva, deberán especificarse ambas características del fichero en el cuadro de diálogo que aparecerá (FIGURA 5.6).

🄏 Guardar red	X
◯◯ ⊃ 🌗 « Gestar2008 ≯ Redes	- 4 Buscar
Nombre:	*
Tipo: Ficheros de red (*.red)	•
💌 Examinar carpetas	Guardar Cancelar

FIGURA 5.6 Cuadro de diálogo guardar red.

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

IMPORTAR/EXPORTAR RED AUTOCAD

A través de este icono el usuario accederá a dos funciones diferenciadas. En el caso de que no se encuentre ninguna red abierta, se iniciará el proceso de generación de una red de GESTAR a partir de un dibujo de AutoCAD mediante el formulario que se recoge en la FIGURA 5.7. (Se realiza una explicación detallada de este proceso en el apartado 7.5.1 REQUISITOS DEL DIBUJO A *IMPORTAR* DESDE AUTOCAD).

🍯 AutoCAD> Gestar			×
NODOS		ELEMENTOS	
Objetos a	Capas de Trabajo:	Objetos a	Capas de Trabajo:
Punto junction1 junction2 rfx_tuberial_IV-4_R03\$0\$I HIDRAN HIDRAN_ID	0 TEXT-PR GRAF-PR 0-numeración PUNTODES DESAGUE rt_tuberial_IV-4_R03\$0\$BOM ~	Línea Polilínea 2D Polilínea 3D Tipo de elementos a c	0 TEXT-PR GRAF-PR 0-numeración PUNTODES ✓
Dotación (m3/s)	0,01 Tolerancia 1	Transformar extremos	libres en Nodo de Unión
Superficie (Ha) Presión de consigna (m)	Nodo de unión 🔹	Diámetro interior (mm)	63 Eliminar objetos originales
Diámetro	Transformar >	Rugosidad	0,00005 Transformar >
DISTRIBUCION ASPERS	ORES		
Capa Secundarias:	Capa Primarias:	Capa Sectores:	Comprobar
U TEXT-PR GRAF-PR 0-numeración PUNTODES DESAGUE	0 TEXT-PR GRAF-PR 0-numeración PUNTODES DESAGUE	 0 TEXT-PR GRAF-PR 0-numeración PUNTODES DESAGUE 	 etquetas
Ayuda. Crear	Red Salir 0%		100%

FIGURA 5.7 Cuadro de diálogo importar red desde AutoCAD

Una vez abierta la red en GESTAR, mediante este mismo icono se accederá a un nuevo cuadro de diálogo (FIGURA 5.8). Esta herramienta permite generar el dibujo de la red en AutoCAD de manera automática con la información que se considere oportuna acerca de los *Nodos* y *Tuberías* que la conforman, según se pormenoriza en el apartado 7.5.3 EXPORTAR RED A AUTOCAD.

₹ 1	i Etiqueta	•	v 2	Dotación	-	·
✓ 3 Texto Estilo Altura	Superficie Texto Standa Texto 10	rd Precisión	▼ 4 ▼ 2 ▼	Presión Consig Escala - @ Autor @ Manu	na nática - 394 Ial	•
TUBEF	IAS			🔽 Tamaño d	el texto propo	rcina
TUBEF	IAS strar información artir de una long	i en tuberías 🗍 itud mínima		Tamaño de la longitud Tamaño máxim Estilo Texto	el texto propo de la tubería o de texto 2	rcina 0
	IAS strar información artir de una long Ident.	en tuberías 🗌 itud mínima	- -	Tamaño de la longitud Tamaño máxim Estilo Texto Standard	el texto propo de la tubería o de texto 2	orcina 0
TUBEF □ ^{Mo:} ap. □ 1 □ 2 □ 3	IAS strar información artir de una long Ident. DN Material	i en tuberías 🗍 itud mínima	-	Tamaño di la longitud Tamaño máxim Estilo Texto Standard Politubos	el texto propo de la tubería o de texto 2	orcina 0 •
TUBEF □ Mo: a p. ▼ 1 ▼ 2 ▼ 3 ▼ 4	IAS	i en tuberías itud mínima	•	 ✓ Tamaño di la longitud Tamaño máxim Estilo Texto Standard Politubos 	el texto propo de la tubería o de texto 2 il tramo más la il tramo centra	orcina 0 • • •

FIGURA 5.8 Cuadro de diálogo exportar red desde AutoCAD.



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

Seleccionar impresora		
Microsoft XPS Document Writer		
•		Þ
Estado: Listo		Preferencias
Ubicación:		
Comentario:		Buscar impresora
ntervalo de páginas	1	1
Todo	Número de copias:	1 - :
C Selección C Página actual		
C Páginas:	Intercalar	1 22 33

FIGURA 5.9 Cuadro de diálogo imprimir.

Para la impresión de los resultados de un cierto escenario, deberá utilizarse el botón *Imprimir* de la ventana *Resultados* (pág. 168).

CORTAR (CTRL + X)

Tras establecer una selección con el botón *Selección Rectangular o Irregular* (ver pág. 77 y siguientes) o este botón borra dicha selección, de manera que podrá ser pegada posteriormente con la opción *Pegar*.

COPIAR (CTRL + C)

Tras establecer una selección con el botón *Selección Rectangular o Irregular* (ver pág. 77 y siguientes) este botón copia dicha selección, de manera que podrá ser pegada posteriormente con la opción *Pegar*.

PEGAR (CTRL + V)

Una vez copiada o cortada una *Selección Rectangular o Irregular* (ver pág. 77 y siguientes), esta opción ofrece la posibilidad de pegarla en la ventana gráfica. El pegado se realizará en la esquina superior izquierda de la ventana gráfica, siendo posible arrastrar la parte pegada pulsando el ratón sobre ella y manteniéndolo pulsado hasta situarla en la ubicación deseada.

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

DESHACER

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

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

REHACER

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

BUSCAR NODO/ELEMENTO (CTRL + F)

Al pulsar este botón aparecerá una la ventana de la FIGURA 5.10, que permitirá al usuario realizar la búsqueda en el mapa de cualquier tipo de *Nodo* o *Elemento*.

Buscar Nodo	Id:
C Buscar <u>E</u> lemento	
Por comentario	
Señalar en mapa	<u>B</u> uscar
C Mostrar datos	Cancelar

FIGURA 5.10 Búsqueda.

- **Buscar Nodo/ Buscar Elemento.** El usuario deberá discernir en primer lugar si desea realizar una búsqueda de *Nodos* o bien de *Elementos*.
- Id. Por defecto, aparece activa esta opción. El usuario deberá rellenar en esta casilla el *Identificador* del *Nodo* o *Elemento* que desea buscar.
- **Por Comentario.** Si el usuario elige esta opción, quedando inactiva la búsqueda por *Identificador*, se buscan y señalan todos los componentes que compartan la misma cadena de caracteres exactos.
- Señalar en Mapa. Al seleccionar esta opción, en la ventana gráfica aparecerá un círculo blanco que indica la ubicación del (los) Nodo(s) o Elemento(s) seleccionado (s).

Mostrar Datos. Si se activa esta alternativa, tras pulsar en *Buscar*, además de su ubicación en el plano, se visualizará desde GESTAR la ventana de definición del *Nodo* o *Elemento* buscado. En el caso de que se realice la búsqueda *por comentario*, mostrará la ventana del primer componente que encuentre que contenga el comentario.



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

disminuir

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

DIMENSIONADO DE LA RED

A través de esta herramienta. GESTAR facilita el dimensionado de redes estrictamente ramificadas, es decir una red sin mallas con un único punto de alimentación (cuya altura piezométrica puede conocerse o no). Es equivalente al comando *Dimensionar Red* del menú *Fichero* de GESTAR.

Dada la importancia y amplitud del desarrollo de esta función, y su relación directa con otros procesos, se dedica en este manual el capítulo 1 al **Dimensionado de Redes Estrictamente Ramificadas**, donde se analiza de forma detallada el proceso de optimización al que se accede al pulsar este icono (ver subcapítulo 8.3 COMPUTO DE GASTOS ENERGETICOS

Término de Energía.

En el proceso de dimensionado óptimo de sistemas alimentados por bombeo directo, el consumo de energía se computan de forma simplificada, suponiendo una *Curva de Consigna* plana (altura de impulsión constante, *Hd*, igual a la correspondiente a la presión de diseño para el caudal de diseño de la cabecera) y que el rendimiento conjunto de la estación de bombeo es un valor estimado asimismo constante (Rendimiento *Ponderado*), $\eta\delta$, obteniendo una versión simplificada de la Ecuación 3-1 que computa el *Consumo Energético Simplificado (CESkwh)*.

$$CES_{kwh} = \int_{0}^{T} \frac{\rho \cdot g \cdot H(q) \cdot q}{\eta(q)} dt = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{d}}{\eta_{p}} \int_{0}^{T} q \cdot dt = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{d} \cdot V}{\eta_{p}}$$

V es el volumen a elevar durante la campaña, que junto al *Rendimiento Ponderado* de la estación de bombeo y el *Volumen* a bombear son los datos que el usuario ha de introducir, ya que *Hd* es objeto de cálculo de proceso de optimización.

El valor económico de esta energía se obtiene multiplicando los kWh necesarios por el precio del kWh. Puesto que el precio del kWh varía según el periodo horario de consumo, la expresión anterior se aplica sumando las contribuciones de los volúmenes bombeados en cada franja horaria (por ejemplo valle , llano punta, o en cada periodo P1, P2,....P6) con su precio del kWh correspondiente:

$$CES_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p} (V_v \cdot PkWh_v + V_{ll} \cdot PkWh_{ll} + V_p \cdot PkWh_p)$$

O lo que es lo mismo, multiplicando la estimación de la energía requerida en el periodo por el precio medio del kWh, ponderado según los volúmenes bombeados en cada periodo horario:

$$CES_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d}{1000\,3600\,\eta_p} (V_v \cdot PkWh + V_{ll} \cdot PkWh + V_p \cdot PkWh) = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot V}{1000\,3600\,\eta_p} \overline{PkWh}$$

En consecuencia, es equivalente suministrar a GESTAR los volúmenes bombeados en cada franja, y las tarifas aplicadas a cada una de ellas (en formas de recargos y descuentos correspondientes) que adjudicar a una franja arbitraria todo el volumen bombeado y considerar un precio del kWh base que corresponda al precio medio ponderado en volumen del kWh, calculado previamente por el usuario.

El precio medio del kWh ponderado en volumen se evaluará, en el caso de la discriminación en tres franjas horarias:

$$\overline{PkWh} = \frac{(V_v \cdot PkWh_v + V_{ll} \cdot PkWh_{ll} + V_p \cdot PkWh_p) \cdot}{V}$$

y en el caso general, en que la tarifa de consumo se estructure en NP tramos, con precio de cada tramo *PkWhi* y volumen bombeado *Vi* en el tramo respectivo:

$$\overline{PkWh} = \frac{\sum_{i=1}^{NP} V_i \cdot PkWh_i}{V}$$

La expresión concreta que aplica GESTAR en el modulo de dimensionado óptimo para el *computo* de los precios del kWh en *cada* periodo es:

$$PkWh_{i} = PkWh_{base} \cdot (1 + \frac{IkWh_{i}}{100})$$

con:

PkWh_{base}: Precio Base kWh

lkWh_i: *Recargo / Descuento* del precio del kWh en el periodo en %

función de estos parámetros la estimación del gasto en energía, utilizando NP En periodos en la tarifa de energía es:

$$CES_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{d}}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_{p}} \sum_{i=1}^{NP} V_{i} \cdot PkWh_{base} \cdot (1 + \frac{IkWh_{i}}{100}) \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnual}$$

Siendo:

 V_i : El Volumen (m3) elevado anualmente por la estación en cada periodo i

 K_{reac} : Coeficiente de potencia reactiva en función del cos φ .

$$K_{reac} = 1 + \frac{17/\cos \varphi^2 - 21}{100}$$
 Si Kreac > 1,47; Kreac=1,47; Si Kreac< 0.96,

Kreac=0,96

$$\cos \varphi$$
 es 0,8997 (valor por defecto), K_{reac} , = 1
Si

 $K_{incAnual}$: Término de incremento anual del coste de la energía.

 $K_{incAnual} = \frac{(1 + Ian/100)^{T} - 1}{T Ian/100}$ Ian: Incremento anual del precio de la energía en

%

Término de Potencia.

El Coste del Término de Potencia corresponde al coste total anual estimado del contrato de potencia del bombeo.

Para estimar la potencia máxima necesaria se utiliza la Potencia Nominal Necesaria, PNN_{kW} , que se asocia a la potencia requerida para bombear el caudal de diseño, Q_d , de

la conducción de cabecera a la altura de presión nominal de diseño, H_d , con un rendimiento ponderado η_n

$$PNN_{kW} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot Q_d}{1000 \cdot \eta_p}$$

Las tarifas eléctricas dividen habitualmente el día en diferentes periodos (P1,...P6), en los que el coste de cada kW de potencia contratada varía. Puesto que no necesariamente en todos los periodos en que se divide la tarifa de potencia es necesario contratar la potencia máxima necesaria, PNN_{kW} , el gasto se computa como suma del coste anual de

los kW contratados en cada periodo según la tarifa eléctrica utilizada.

Para consignar en GESTAR la variación del precio de la potencia contratada, se

introduce un *Precio Base de Potencia Contratada (* $^{PkW_{base}}$) que es el coste en \in por mes, del kW en un determinado periodo de referencia, y a continuación se indica el *Recargo del precio del* kW (y descuento, con signo negativo) en porcentaje respecto al *Precio Base de Potencia Contratada,* correspondiente a cada periodo, *IkW_i*

$$PkW_i = PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100})$$

con:

 PkW_{base} : Precio base del kW por mes en _{el} periodo de referencia

 IkW_i Recargo/Descuento % respecto del precio base del kW/mes en el periodo i

En $_{\text{función}}$ los conceptos enunciados GESTAR estima $_{\text{el}}$ coste anual de la potencia contratada, *CPC;* mediante la expresión:

$$CPC_{\notin} = \left(\frac{\rho \cdot g \cdot Q_d \cdot H_d}{1000 \cdot \eta_p}\right) \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_i}{100} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100}) \cdot 12 \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnua}$$

Siendo:

 R_i : Los Coeficientes de Reparto de la Potencia Contratada para el periodo *i (%)*

 $\overline{K_{_{reac}}}$ Término de potencia reactiva en función del cos φ

 $K_{incAnual}$: Término de incremento anual del coste de la energía

Alternativamente, puede prescindirse de la discriminación de periodos utilizando un precio constante del kW por periodo, obtenido como media ponderada con la potencia contratada:

$$\overline{PkW}_{1/NP} = \frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_i}{100} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100})$$

ASISTENTE OPTIMIZACIÓN DE LA RED), así como los requerimientos en la generación previa de la red estrictamente ramificada que se desea dimensionar (ver subcapítulo 8.1 GENERACIÓN PREVIA DE TOPOLOGÍA Y DEMANDAS.) junto con el procedimiento de cálculo de los Caudales de Diseño (ver subcapítulo 8.2 CAUDALES DE DISEÑO).

ESCENARIOS ALEATORIOS

Esta herramienta permite generar los más diversos escenarios bajo diferentes condiciones de simultaneidad, de forma aleatoria. Este tipo de escenarios aleatorios será de gran utilidad para el análisis del comportamiento de redes de riego con un gran número de hidrantes. Al pulsar el botón *Escenario Aleatorio* aparecerá una ventana (FIGURA 5.11) en la que se podrán establecer diversas condiciones para generar escenarios en diferentes condiciones de explotación. Cada escenario aleatorio generado puede simularse con la herramienta.

Criterios sorteo	Resultado:	*
Nodos incondicionalmente Abiertos: 1	Incondicionalmente Abiertos: 1	
Nodos incondicionalmente Cerrados: 2	Incondicionalmente cerrados: 2	
Nodos sorteables: 88 % Apertura Sorteables: 18 %	Sorteables Abiertos:16 Sorteables Cerrados: 72	
Nodos Totales red: 91	Totales Abiertos: 17	_
% Apertura general: 19 %	Lotales Cerrados: 74	
Tipo de sorteo En número _	lades C Probabilidades eas distintas	
1		

FIGURA 5.11 Cuadro de diálogo Escenario Aleatorio

Porcentaje de Hidrantes Activos. Mediante la barra de "scroll" se establece el porcentaje de hidrantes activos que se desea queden abiertos respecto al número total de hidrantes en la red. Desde los cuadrantes a la izquierda de la barra (denominados *Criterios Escenario y Resultado*), el usuario recibe información acerca del número de nodos incondicionalmente abiertos, nodos incondicionalmente cerrados (ver pág. 81), nodos sorteables (es decir que no están en ninguno de los dos anteriores estados) y nodos totales que se encuentran en la red. Debe tenerse en cuenta que los hidrantes desactivados (incondicionalmente cerrados o abiertos) mediante el botón *Restricciones de Escenarios Aleatorios* (pág. 81) no cambiarán de estado por la acción del azar. A su vez, conforme el usuario desplaza la barra, desde GESTAR se detalla cómo se modifican tanto los *Criterios de Escenario* (%s de

apertura) como el *Resultado* (número de *Nodos* abiertos y cerrados) para cada situación.

- ◆ Tipo de Criterio. Aparece por defecto la opción En Número, abriéndose Nodos del tipo Nodo de Consumo Conocido y Nodo Hidrante Regulador de forma aleatoria, hasta tener un número de ellos tal que el porcentaje de apertura, con respecto al total de los mismos o respecto al conjunto de Nodos sorteables, sea el especificado. Desde GESTAR se habilitará una segunda opción en versiones posteriores, En Caudal, en la que el porcentaje de apertura se asocia a la demanda total de caudal en cabecera.
 - **Probabilidades Homogéneas**. Es la opción activa por defecto, se considera que cada hidrante tiene idéntica probabilidad de apertura a la hora de generar el *Escenario Aleatorio*.
 - **Probabilidades Distintas.** Seleccionando esta casilla, en el *Escenario Aleatorio* se tendrá en cuenta la probabilidad de apertura de cada hidrante. Para que esta opción sea efectiva se exige que se hayan definido correctamente ciertos campos específicos en las ventanas correspondientes a todos los *Nodos* de tipo *Nodo de Consumo Conocido* y *Nodo Hidrante Regulado* en virtud de los cuales se conoce la probabilidad de apertura de cada hidrante en el Anexo IV, pág. 369, y en las ventanas de definición de *Nodo de Consumo Conocido*, pág. 87, y *Nodo Hidrante Regulador*, pág. 91).
- Generar Escenario. Seleccionado el porcentaje de hidrantes a abrir, cuando el usuario pulse el botón *Generar Escenario* se visualizarán en pantalla los hidrantes abiertos/cerrados que ha generado GESTAR. Si el usuario no está satisfecho con la distribución y/o el porcentaje obtenido, o si desea generar un nuevo escenario, puede volver a *sortear* de nuevo el porcentaje consignado tantas veces como sea necesario.
- ◆ Salir. Para validar la distribución alcanzada se pulsará el botón Salir. Debido al procedimiento interno en GESTAR para la generación de Escenarios Aleatorios, en los casos de redes con muy pocos hidrantes activos, pueden aparecer ligeras desviaciones en los resultados obtenidos frente a los consignados.

Puesto que cada *Escenario Aleatorio* es la realización aleatoria de un universo posible de escenarios de demanda susceptibles de analizar hidráulica y energéticamente, la obtención de conclusiones sobre el comportamiento global de la red con un determinado porcentaje de *Nodos* activos, no puede hacerse en función exclusivamente de los resultados de un único escenario, o de un número limitado de ellos, obtenidos manualmente. Conviene analizar los resultados individuales o promediados de una colección extensa de casos con objeto de obtener una visión más completa del funcionamiento de la red y una identificación de las condiciones extremas favorables y desfavorables.

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

Automático. Si se selecciona esta opción en el cuadro de diálogo de la FIGURA 5.11, aparecerá una nueva ventana (FIGURA 5.12).En esta ventana se permite establecer el número de escenarios aleatorios que se generarán y calcularán automáticamente uno tras de otro.

Número 15 % Apertura General: 75	Num = 5; % = 25 Num = 10; % = 35 Num = 10; % = 45 Num = 10; % = 50	Tipo de sorteo En número 💌 C Prob. <u>h</u> omogéneas
Aña <u>d</u> ir	Eliminar Ace	(• Prob. di <u>s</u> tintas ptar Cancelar

FIGURA 5.12 Escenario Aleatorio.

- Número. En esta casilla el usuario determinará el número de escenarios aleatorios que desea analizar para un porcentaje de apertura y unas condiciones de explotación que deberá definir según se detalla a continuación.
- % Apertura General. Desde esta casilla se fijará en valor numérico el porcentaje de apertura general que se aplicará al número de *Escenario Aleatoris* especificados en la casilla anterior.
- **Tipo de Escenario.** Este cuadrante es idéntico al que aparece en el cuadro de diálogo de la FIGURA 5.11 para un único *Escenario Aleatorio*, y permitirá definir las condiciones de los *Escenario Aleatorio* para cada par *Número %Apertura general*.
- Añadir. Introducido un par *Número -%Apertura General* y seleccionadas las condiciones de los *Escenario Aleatorios*, se deberá pulsar el botón *Añadir* para que pasen a formar parte de la lista de *Escenarios Múltiples*.
- Eliminar. Para borrar un par de valores de lista habilitada en el centro del cuadro de diálogo, habrá que seleccionarlo pulsando sobre éste con el ratón y a continuación pulsar sobre el botón *Eliminar*.
- Mediante este botón se permite abrir un *Fichero de Análisis* (extensión ".Srta."), que contenga una lista de pares *Número -%Apertura Genera*l generada anteriormente desde esta misma ventana.
- Al pulsar este botón el usuario podrá guardar la lista actual de pares *Número -%Apertura* en un *Fichero Escenario Múltiple* (extensión ".Srta.") para su uso en posteriores análisis.

- El botón permite configurar las alarmas a tener en cuenta en la simulación de todos los escenarios aleatorios generados automáticamente (información sobre alarmas en pág. 169).
- Aceptar. Establecida una lista de *Escenarios Múltiples* y configuradas las alarmas, el botón *Aceptar* procederá a generar tantos escenarios aleatorios como se hayan especificado con el porcentaje de simultaneidad fijado para cada uno de ellos. Conforme los escenarios se generan se realiza la simulación hidráulica correspondiente y sus resultados se filtran con las alarmas impuestas. Cuando la secuencia de escenarios termina de generarse, calcularse y filtrarse con los rangos de alarmas, se informa momentáneamente en la parte inferior de la ventana del número de pases calculados (total de escenarios propuestas por el usuario), del número de éxitos (número de los rangos definidos en la configuración de las alarmas) y del número de errores de cálculo que, en su caso, se hayan producido.
- **Recalcular** Si se selecciona la opción *Recalcular* se inicializará la simulación de cada escenario con los resultados del cálculo del escenario anterior, acelerando en alguna medida el proceso.. Salvo que los tiempos de simulación sean muy elevados actualmente no se recomienda recurrir a esta opción.

<u>CO</u> EVOLUCIÓN TEMPORAL

A través de esta herramienta el usuario puede realizar un análisis de la red a lo largo de una secuencia temporal. En la evolución temporal se resuelven de forma secuencial un conjunto de escenarios deterministas, donde cada escenario que se simula difiere de los demás en el estado de los componentes de la red (*Nodos de Demanda*, *Hidrantes Reguladores, Emisores, Tuberías, Bombas*) especificados por el usuario mediante órdenes temporales y lógicas y por en el nivel de fluido en los puntos de acumulación susceptibles de cambiar de nivel, *Nodo Balsa*, calculado todo ello por el programa.

De forma específica se dedica el capítulo (VER referencia) para el análisis de este proceso.

Al activar el botón *Evolución Temporal* se despliega la ventana mostrada en la FIGURA 5.13.

aracterísticas del Patrón	
- Intervalos	
Tiempo total de simulación	Horas
C Número de intervalos	
Amplitud de cada intervalo Hora inicial: 0 H 0 M. Amplitud de 1 Horas V	
aracterísticas de la Simulación Intervalo de la 1 Horas 💌	ি Avisar C Ignora Configurar
Recalcular	

FIGURA 5.13 Ventana de Configuración de la Evolución Temporal.

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

- Tiempo TTotal de la Simulación. Especificando este valor en las casillas contiguas y la *amplitud de cada intervalo* en la parte inferior de la ventana, queda determinado indirectamente el número total de intervalos (como máximo 168 según los valores por defecto cargados en fichero "Gestar.ini").
- Número de Intervalos. Quedan definidos desplazando el marcador de la parte central de la ventana. El número máximo de intervalos por defecto es 168. Junto con el valor especificado como amplitud de cada intervalo, determina el tiempo total de la simulación.
- Hora Inicial. Se establece el origen temporal de la simulación, de modo que GESTAR asocia un instante temporal absoluto a cada uno de los escenarios propuestos, según la magnitud de los intervalos. Si no se rellenan estas casillas, los tiempos serán relativos.
- Características de la Simulación. De forma independiente, desde este cuadrante, se establecerá el tiempo que transcurrirá entre dos resoluciones o *paso de cálculo*.
- Alarmas. Permite activar en cada instante de la simulación la configuración de alarmas actual, que puede ser modificada en el botón *Configurar*. Al pulsarlo se despliega la ventana *Alarmas*, cuya descripción se encuentra en la pág. 170. Si la opción *Alarmas* se encuentra desactivada los criterios de alarma de la configuración se inhiben durante la simulación temporal.

- Avisar. Esta opción hace que, durante los cálculos, si la opción de *Alarmas* se encuentra activada, aparezca un cuadro de aviso cada vez que en uno de los escenarios propuestos por el usuario se desbordan los rangos establecidos en la configuración de las alarmas.
- Ignorar. Cuando esta opción se encuentra activada, no se producirá aviso alguno cuando las alarmas sean desbordadas, pero el evento que ha ocasionado la alarma será archivado en el informe y mostrado en la posterior inspección gráfica de los resultados una vez acabado el proceso.
- Configurar. Permite acceder a la ventana de *Configuración de Alarmas*.
- Patrones. Permite especificar el estado de apertura de los hidrantes y los grupos de bombeo. (ver pág. 281).
- Ejecutar. Pulsando este botón da comienzo el cálculo. Tras éste se muestra la solución gráfica de la red acompañada de una ventana de desplazamiento que permite pasar de un caso a otro (ver pág. 291).
- **Recalcular.** Si se realiza el cómputo de una *Evolución Temporal* con la opción *Recalcular* seleccionada, en cada paso temporal a partir del primero se inicializará el cálculo de la solución del nuevo paso temporal con los resultados del intervalo anterior.

CALCULAR

Una vez creado un escenario único, bien sea mediante herramientas deterministas o aleatorias, al pulsar este botón se comunican todos los datos al módulo de cálculo, que procesa la información, resolviendo el problema hidráulico planteado. Una vez concluido el cálculo del escenario, los resultados se devuelven al módulo gráfico y estos se vuelcan en el esquema de la red en pantalla con las variables y código de colores especificados. Se representa para cada *Nodo* un círculo cuyo color indicará el intervalo de valores entre los que se localiza el valor de la variable seleccionada en la ventana *Leyenda de Colores* (pág. 71) según los rangos definidos en ella. De igual modo, también los *Elementos* aparecerán coloreados en función de los valores de la variable elegida en la ventana *Leyenda de Colores*. Son también mostrados los valores numéricos de los parámetros seleccionados en la lista de variables de *Nodos* y *Elementos* correspondientes a los botones *Ver Valores en Nodos* y *Ver Valores en Elementos*, pág. 76.

Según las opciones que se encuentran seleccionadas en el menú *Calcular* (ver pág. 248), el proceso de cálculo se inicializará sin tener en cuenta los resultados anteriores, o bien utilizando los resultados del último cálculo.

EDITAR LEYENDA DE COLORES (CTRL + L)

Los resultados de un escenario de la red se muestran mediante un código de colores, cuyos rangos pueden modificarse. Al pulsar este botón aparecerá la ventana de

la FIGURA 5.14 donde se podrán cambiar los rangos de valores y los colores asociados que se utilizan para representar las distintas variables en la salida gráfica. También se pueden seleccionar las variables a mostrar, tanto en *Nodos* como en *Elementos*. GESTAR establece unos rangos y colores por defecto, basados en los valores máximos y mínimos encontrados en la ejecución del caso o de la serie de casos.

Nodos	Elementos-
Presión 💌	Velocida 💌
Auto	Auto
C Manual	C Manual
0,0	0,0
22,7928	0,4955
15 5057	0.0011
45,5857	JU,9911
68,3785	1,4866
01 1712	1 0001
51,1715	1,3021
113,9641	2,4777
Mostrar	Mo <u>s</u> trar
C <u>M</u> ax €	M <u>e</u> d C Mi <u>n</u>
Aceptar	Cancelar

FIGURA 5.14 Leyenda de Colores

Puesto que el tratamiento exhaustivo de las operaciones de entrada y salida de resultados se aborda en el Capítulo 6, los detalles de operación de la ventana se recogen en la pág. 212.

ELIMINAR RESULTADOS

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

La información completa referente a la salida de resultados se encuentra recogida en el apartado 6.2 Salida de Resultados (pág. 211).
RESULTADOS

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

El tipo de tabla que aparece por defecto al pulsar el Botón *Resultados* corresponde al de la FIGURA 5.15, que sintetiza la información completa de un escenario.

hive	Mapa								
I ≝ IEE I8 iteraciones. Fiempo de cálculo: 4 centésimas.						- G	i ráfica de t	Consigna	
м	ax (• Me	d ⊂ ⊮	lin					Media	Mínima
	1	Nodos			Elen	ientos		Ve	r grafica
	ID ELEM	NI	NF	LONGITUD	DIÁMETRO	RUGOSIDAD	PERD. CARGA	CAUDAL	VELOCIDAD COME
1	1001	1002	1001	253,9049	0,136	0,00002	0,000	0,000	0,00 =pvc
2	1002	1003	1002	12,22669	0,136	0,00002	0,000	0,000	0,00 =pvc
3	1003	1004	1003	237,853	0,213	0,00002	0,350	0,021	0,59 =pvc [≡]
4	1010	3001	1010	18,16292	0,35	0,000025	0,015	0,057	0,59 =Fb E
5	1024	1025	1024	133,9446	0,3	0,000025	0,000	0,000	0,00 =Fb E
6	1025	3002	1025	15	0,35	0,000025	0,000	0,000	0,00 =Fb E
7	1033	3002	1033	63,30261	0,35	0,000025	0,065	0,064	0,67 =Fb E
8	1028	1030	1028	134,7188	0,3	0,000025	0,159	0,046	0,65 =Fb E
9	1029	1028	1029	323,9465	0,17	0,00002	0,000	0,000	0,00 =PVC
10	1027	1028	1027	170,9904	0,213	0,00002	0,190	0,018	0,51 =PVC
11	1026	1027	1026	310,5781	0,136	0,00002	0,000	0,000	0,00 =PVC
12	1040	3004	1040	31,27406	0,3	0,000025	0,543	0,195	2,76 =FB E
13	1036	1037	1036	45,791	0,17	0,00002	0,390	0,030	1,32 =PVC
14	1035	1036	1035	226,2364	0,136	0,00002	2,237	0,018	1,24 =PVC
15	1034	1035	1034	98,76357	0,136	0,00002	0,275	0,009	0,62 =PVC
16	1042	3004	1042	54,34313	0,17	0,00002	0,462	0,030	1,32 =PVC
17	1041	1042	1041	127,8645	0,136	0,00002	0,904	0,015	1,03 =PVC
18	1055	3005	1055	484,8241	0,3	0,000025	2,865	0,110	1,56 Fb-E
19	1054	1055	1054	264,6414	0,3	0,000025	1,120	0,092	1,30 =FB E
20	1053	1054	1053	422,5848	0,213	0,00002	4,297	0,060	1,68 =PVC
21	1052	1053	1052	113,2733	0,213	0,00002	0,675	0,045	1,26 =PVC
22	1051	1052	1051	85,89126	0,136	0,00002	2,191	0,030	2,07 =PVC
23	1050	1051	1050	289,8228	0,136	0,00002	2,049	0,015	1,03 =PVC
24	1060	3006	1060	475,8519	0,3	0,000025	0,414	0,039	0,55 =FB [
					- Chief	1.275.00			

FIGURA 5.15 Listado Numérico de un escenario.

En la ventana *Resultados* de la FIGURA 5.15 aparecen todas las variables referentes a cada *Nodo* o *Elemento*, tanto las introducidas como dato como las procedentes del cálculo de la red. El estado de los componentes de bombeo y regulación aparecen indicados en las posiciones correspondientes. Además de poder acceder a esta tabla después de haber calculado un escenario único, análogamente se posibilita consultar los resultados de un análisis con *Escenarios Múltiples*, en donde se reflejarán los valores medios, máximos o mínimos de las variables según la opción que se haya seleccionado en la parte superior izquierda de la ventana (FIGURA 5.15). Y en el caso

de que la consulta se realice en una *Evolución Temporal*, se mostrarán todos los datos en cada uno de los intervalos programados, con la posibilidad de, teniendo esta ventana abierta y seleccionando la opción video (botón) de la ventana de la evolución temporal, poder ver de forma secuencial los datos, a la par que se van mostrando gráficamente los diversos escenarios en el mapa.

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

- Botón Guardar (). Guarda toda la información que hay en la ventana en un fichero del tipo "*.res". El cual podremos abrir después desde el menú de GESTAR, en el apartado *Fichero/ Abrir Resultados*. Los resultados también se pueden almacenar en un fichero de tipo *EXCEL* (".xls") o en un fichero de texto (".txt").
- Botón Imprimir (🖆). Permite imprimir los resultados presentes en la tabla.
- Botón Filtro de Resultados (E). Ofrece la posibilidad de mostrar en la Tabla de Resultados solamente determinados tipos de *Nodos* o *Elementos* (FIGURA 4.13). En la ventana de *Filtro Para Tabla de Resultados* se deberán marcar los componentes que se mostrarán en la *Tabla de Resultados* tras pulsar el botón *Aceptar*.

Seleccione los tipos de Nodos y E en la Tabla de Resultados:	lementos que desea que aparezcan
Nodos	
🔽 <u>U</u> nión	Elementos
✓ Embalse	Co <u>n</u> ducción
🔽 Balsa	✓ Bomba
🔽 Presión Regulada	✓álvula
🔽 C <u>o</u> nsumo Conocido	🔽 Sin Característica Pasiva
✓ Hidrantes Reguladores	🔽 Els. de Consumo en Ruta
🔽 Doble Condición	
🔽 Sin Condición	

FIGURA 5.16 Elección del tipo de resultados

- Menú Archivo. Los comandos del menú Archivo permiten activar las opciones *Guardar, Imprimir y Personalizar Tabla*, descritas anteriormente.
- Menú Señalar. El comando *Señalar* de este menú dibujará sobre la red un círculo blanco en el lugar donde se ubique el *Nodo* o *Elemento* correspondiente a la fila de la *Tabla de Resultados* que se encuentre seleccionada.
- Gráfica de Barras. De uso exclusivo en los casos en que se realice un análisis hidráulico mediante la herramienta de *Escenarios Múltiples*.

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

Una descripción completa de la estructura de la esta tabla se recoge también en el *Capítulo 6*, pág. 180.

GRÁFICOS

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

Si se ha realizado una simulación temporal, este botón nos dará acceso a una nueva ventana (FIGURA 5.17) que nos va a mostrar los resultados evolucionando a lo largo del tiempo de todas las variables, de todos los *Nodos* o de todos los *Elementos*, según la selección que hagamos en la sección *Tipo de Tabla*. No obstante, para una información numérica completa correspondiente al intervalo temporal visualizado puede mostrarse en el formato de la FIGURA 5.15 a través de la barra de *Menú: Resultados/Listado Numérico* o directamente desde la ventana de evolución temporal con el botón *Resultados* ya descrito en el apartado anterior.

Datos © De <u>t</u> oda la rec © <u>S</u> elección gráf	ica C	de Tabla <u>N</u> odo Fijo <u>E</u> lemento Fijo Variable <u>f</u> ija	Variable: Presión de Consign	a 💌		
Instante	1	10	11	12	13	14
01:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
02:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
03:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
04:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
05:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
06:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
07:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
08:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
09:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
10:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
11:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
12:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
13:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
14:00:00	35,92771	35,20835	44,59188	30,04856	42,69715	41
<u>↓</u>			1	1	· ·	▶

FIGURA 5.17 Tabla de evolución temporal.

Desde las tablas de tipo temporal (FIGURA 5.17), que recogen la evolución temporal de las variables, es posible generar figuras para la representación gráfica de la evolución en el tiempo de las variables hidráulicas. Existen diversas opciones para

seleccionar los *Nodos*, *Elementos* y variables a listar. La generación de las tablas y las gráficas se documenta en el Capítulo 6, Apartado 6.2.7, pág.222.

🔟 ALARMAS

Ver descripción en el apartado Menú Alarmas/ Configuración (pág. 170).

VER VALORES EN NODOS (F7)

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

Estas variables accesibles (según el tipo de *Nodo*) para los *Nodos* son: *Identificativo, Cota, Dotación, Demanda, Probabilidad, Área Regada, Caudal Ficticio Continuo, Comentario y Diámetro.*

Después de calcular la lista de *Nodos* se amplía con la *Presión, Presión de Consigna, Margen de Presión y la Altura Piezométrica.* El *Margen de Presión*, se define como la diferencia entre la *Presión* calculada y la *Presión de Consigna*, variable que existe siempre y cuando en el *Nodo* esté definida tal presión de Consigna.

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

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

E VER VALORES EN ELEMENTOS (F8)

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

Estas variables para los *Elementos* son: Identificativo, Longitud, Diámetro, Rugosidad, *Material*, *Timbraje*, Caudal, Velocidad, Pérdida de Carga, Pérdida de Carga por unidad de Longitud, Comentario, *Diámetro Nonimal+ Material + Timbraje*, Caudal de Diseño, Celeridad, *Diámetro Nonimal*, Potencia (kW), Rendimiento (%) y Tipo.

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

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

FILA INFERIOR:

SELECCIONAR

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

Con esta herramienta se ofrece la posibilidad de seleccionar un *Nodo* o *Elemento* de la red con propósito de generar fácilmente sus gráficos en evoluciones temporales, a través de la ventana *Tablas para Gráficos*, cuando se encuentra seleccionada la opción *Selección gráfica*, en dicha ventana (ver pág. 75).

ATENCIÓN: El color gris adjudicado a los *Nodos* y *Elementos* seleccionados puede confundirse con el código de color asignados a *Elementos* descargados o *Nodos* sin consumo (ver pág. 81).

I SELECCIÓN RECTANGULAR

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

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

Al pegar un grupo de *Nodos* y *Elementos* previamente copiados o cortados mediante la herramienta *Selección Rectangular*, los nuevos *Nodos* o *Elementos* adquirirán automáticamente un identificativo por defecto, al cual se le podrán anteponer dos caracteres mediante un formulario que se mostrará para tal fin (FIGURA 5.18 y FIGURA 5.19).

Desea anteponer un text	o a las etiquetas de la selección que va	a ser pegada?
		1

FIGURA 5.18 Formulario Anteponer Texto. Cuadro de diálogo 1



FIGURA 5.19 Formulario Anteponer Texto. Cuadro de diálogo 2

- ♦ Edición Múltiple. La Selección Rectangular también permite la edición de los parámetros de definición de los Nodos y Elementos seleccionados de dos formas:
 - 1. *Edición Múltiple Selectiva*. Tras realizar la *Selección Rectangular* y seleccionar en la *Barra de Herramientas* un tipo de *Nodo* o *Elemento* presente en la selección, se mostrará la ventana de edición del ente correspondiente con los campos vacíos. Al aceptar esta ventana, los campos que hayan sido cumplimentados se impondrán a todos los *Nodos* o *Elementos* del tipo escogido presentes en la selección. De esta manera se permite, por ejemplo, establecer la misma dotación en todos los *Nodos de Consumo Conocido* seleccionados.
 - 2. Edición Múltiple General. Tras realizar la Selección Rectangular, al hacer doble clic sobre uno de los Nodos o Elementos concretos ubicados dentro del perímetro seleccionado se mostrará la ventana de edición de la entidad seleccionada en concreto con todos sus valores de los campos respectivos. Al aceptar esta ventana, todos los campos (modificados o no) se impondrán a todos los Nodos o Elementos del mismo tipo que el escogido, excepto el campo correspondiente al Identificativo y, en el caso de los Nodos, las coordenadas X e Y.

SELECCIÓN IRREGULAR

La Selección Irregular permite seleccionar un grupo de Nodos y Elementos encerrados dentro de un polígono que se deberá definir. Tras pulsar sobre el botón Selección Irregular, se deberá ir pulsando sobre el mapa para definir los vértices del polígono deseado. Para cerrar el polígono, dando por finalizada la selección, se deberá hacer una pulsación en el botón secundario del ratón. La Selección Irregular permite operaciones de Desplazamiento, Duplicación (copiar o pegar) y Edición Múltiple, descritas en la herramienta Selección Rectangular (pág. 77).

A COMENTARIOS

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

Tras activar esta opción, el cursor se transforma en un icono de inserción de texto y se deberá pulsar con el ratón en el punto de la ventana gráfica donde se desea que aparezca el texto, que será especificado en la ventana *Comentarios* (FIGURA 5.20) que se abrirá a continuación.

≤ = 606629, ≤ = 699606,	1 . I▼ ⊻isible	<u>F</u> uentes
------------------------------	-------------------	-----------------



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

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

Para editar nuevamente o borrar comentarios ya existentes, véase la opción *Editar Comentarios* (pág. 148).

ELIMINAR NODO/ELEMENTO

Al hacer "clic" sobre un *Nodo* o *Elemento* cuando está seleccionada esta herramienta, aparecerá un aviso (FIGURA 5.21) preguntando si se desea eliminar dicho *Nodo* o *Elemento*; al confirmarse se eliminará. Para borrar un emisor es suficiente con borrar sólo su *Nodo* o su *Elemento* asociado. Sólo se pueden borrar los *Nodos* aislados, por lo que es preciso borrar en primer lugar los *Elementos* adyacentes a un *Nodo* previamente a su eliminación.



FIGURA 5.21 Cuadro de Aviso Eliminar.

PARTIR TUBERÍA

Esta herramienta permite la partición de un *Elemento Tubería* mediante inserción de un nuevo *Nodo de Unión* que genera dos nuevos tramos. Tras seleccionar esta opción, si se hace "clic" sobre el *Elemento Tubería* en el punto donde se desea insertar el *Nodo de Unión*, aparece el cuadro de diálogo de la FIGURA 5.22. La cota del nuevo *Nodo de Unión* y las longitudes de los dos tramos son interpoladas por defecto, siendo ajustables por el usuario. Se recomienda revisar sistemáticamente, y retocar si fuera preciso, los valores de longitud de cada tubería resultante, confirmando que la longitud total, suma de cada tramo, es sensiblemente igual a la de origen, así como la cota dada por la aplicación por defecto.

lubería resultante 1:	Nodo Unión Id. NU1 X = (m) 1639,417 Nu (x) 0001,070	Tubería resultante 2:
ongitud (m) 491,41	Y = (m) 2804,376 Cota (m) 299,06	Longitud (m) 341,41

FIGURA 5.22 Inserción de un Nodo de Unión

La inserción de *Nodos de Unión*, dividiendo una *Tubería*, puede explotarse en numerosas aplicaciones: injerto de nuevos ramales, introducción de vértices en el trazado de un tramo de *Tubería*, reducción de tramos de gran longitud a serie de tramos

de menor dimensión que posibilita ajustar los dimensionados, identificación de puntos altos y bajos para aquilatar *Timbraje*, o ubicar ventosas y drenajes, control de presiones en puntos intermedios, generación de tramos específicos para inserción en de *Elementos* tales como válvulas, codos, reducciones,...

ABRIR/CERRAR HIDRANTES

Al hacer "clic" con esta herramienta sobre un *Nodo de Consumo Conocido* o sobre un *Nodo Hidrante Regulador*, éstos se cierran automáticamente (consumo nulo), mientras que si ya estaban cerrados se vuelven a abrir con la demanda instantánea que tenían antes de cerrarlos. Los *Nodos* abiertos o cerrados incondicionalmente (*botón Restricciones de Escenarios Aleatorios*, pág. 81) no podrán ser modificados con esta herramienta. Los hidrantes abiertos tendrán un color azul claro, mientras que los cerrados serán blancos.

P RESTRICCIONES DE ESCENARIOS ALEATORIOS

Permite determinar la apertura o cierre de un *Nodo de Consumo Conocido* o de un *Nodo Hidrante Regulador* de forma permanente (apertura o cierre incondicional), de modo que su estado no pueda ser modificado por la herramienta *Escenarios Aleatorios* (pág. 66) ni con la herramienta *Abrir/Cerrar Hidrantes* (pág. 81).

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

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

۲	(azul)	Hidrar	nte abierto (sujeto a Escenarios Aleatorios).
•	(blanco)	Hidrar	nte cerrado (sujeto a Escenarios Aleatorios).
٠	(azul con segmento b	lanco)	Hidrante abierto incondicionalmente.
٠	(gris)		Hidrante cerrado incondicionalmente.

5.2.1 TIPOS DE NODOS

Todos y cada uno de los *Nodos* tienen asociada una ventana con similar estructura y un icono característico. El caso más completo es el que se muestra en la FIGURA 5.23.

Id. HID1 Comentari	이
po: Hidrante regulador Posición (m) ≚ (m) = 606643,6 Y (m) = 699509,4 Cota (m)= 0	Apertura Superficie regada (ha) 1 q ficticio cont. (I/sha) 1 Rendimiento 1
Consumo Consumo Dotación (m3/s) 0,01 Demanda (m3/s) 0,01 Grado Libertad Cajcular GL=1/p	✓ Regulación Presión de consigna 38 Ks Hidrante (s2/m5) 15000 Ks Parcela (s2/m5) 68000 N Parcela 2 Diámetro hidrante Diám:
Acestar	`ancelar Διιμίda

FIGURA 5.23 Nodo Hidrante Regulador.

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

- ◆ Id: Identificativo de cada Nodo. Es alfanumérico (máximo 15 caracteres); no pueden existir dos Nodos de la misma red con el mismo identificativo. Se puede reservar algunos caracteres para designar la zona en la que se encuentra; por ejemplo, todos los que corresponden a un sector concreto de la red pueden empezar por un cierto dígito o llevar cierto prefijo.
- **Comentario:** Es una cadena de caracteres alfanuméricos (máximo 20 caracteres) en la que se puede escribir cualquier información para cada *Nodo*. Sirve para añadir comentarios adicionales, como fecha, propietario, zona, ...
- **Tipo:** Indica qué clase de *Nodo* se está introduciendo. Los parámetros requeridos en la ventana dependen del tipo de *Nodo*.
- **Posición:** Son las coordenadas en planimetría (X e Y) y en altimetría (cota Z) de cada *Nodo* expresadas en metros. El origen de coordenadas cartesianas se encuentra en la esquina inferior izquierda; la X crece hacia la derecha y la Y crece hacia arriba.

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

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

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

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

NODO DE UNIÓN

Es un caso particular de *Nodo de Consumo Conocido* (pág. 87), en el que el valor asignado al consumo exterior es igual a cero. No aparece ninguna ventana de definición de caudal, ya que se interpretará como caudal nulo, pero se precisa especificar sus coordenadas. Se puede utilizar para representar cualquier punto singular de la red, como bifurcación de ramales, cambios de diámetro, *Elementos* cerrados en el extremo, cambios de dirección de las *Tuberías*, puntos de paso intermedio donde se desee controlar la presión, etc.

Existe la posibilidad de trazar una *Tubería* con múltiples vértices para representar los cambios producidos en la dirección del *Elemento* (ver pág. 99). De este modo no es necesario recurrir a la creación de un *Nodo de Unión* exclusivamente con este propósito.

Al ubicar un *Nodo de Unión* no aparece automáticamente su ventana de diálogo, ya que tanto las coordenadas como el identificativo asignado por defecto se consideran aceptables. Para acceder a la ventana del *Nodo de Unión*, o de cualquier otro componente, (FIGURA 5.24) es preciso editar el *Nodo* haciendo doble "clic" sobre él.

Id. NU3	Comenta	ario	
ipo:		_	
Nodo de unió	n _	<u> </u>	
Posición (m) ⊠ (m) =	606931,5		
⊻ (m) =	699398,4		
Cota (m)=	415,8		
Acarba		Cancelar	Auuda

FIGURA 5.24 Nodo de Unión.

Los *Nodos* de *Unión* son útiles en para configurar numerosos aspectos de las redes de distribución: bifurcaciones, ramales ciegos, introducción de vértices nuevos en el trazado de un tramo de *Tubería* ya creado, reducción de tramos de gran longitud en

una serie de tramos de menor dimensión que posibilita escalonar los diámetros dimensionados, identificación de puntos altos y bajos para vigilar presiones extremas y aquilatar *Timbrajes*, ubicar ventosas y drenajes, control de presiones en puntos intermedios, generación de tramos específicos para inserción de *Elementos* tales como válvulas, codos, reducciones, ...

I NODO EMBALSE

El Nodo Embalse (FIGURA 5.25) es un caso particular de Nodo de Presión Conocida (pág. 86), en el que el valor asignado automáticamente por el programa a la altura de presión es nulo. La condición de contorno que se debe suministrar en el Nodo Embalse es la cota de la lámina libre (respecto de la referencia global de cotas), que se debe introducir en el recuadro de Lámina (m).

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

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

Id. EMB1	Comentario	
ipo:		
Embalse	•	
-Posición (m)- ⊻ (m) =	606576,9	
<u>Y</u> (m) =	699648	
Lámina (m)=	0	
1.10		Ada

FIGURA 5.25 Nodo Embalse.

NODO BALSA

Es un *Nodo* de alimentación utilizado para la simulación del comportamiento de la red en evoluciones temporales (ver apartados 9.5.2. y 9.5.3, referentes a la generación y análisis de escenarios deterministas con evolución temporal). Desde la ventana de la FIGURA 5.26 se asociarán al *Nodo Balsa* los siguientes datos:

			z (m) V (m3)
≦ (m) =	606477,6		0	0
<u>r</u> (m) =	699564,2		1	50
Cota Solera (m] = [490		2	150
•	. 1400		3	356
Niveles:			4	789
N ENH	liv.Min 1	-	_	
NA NA	liv Inic 2	_		
Mm Nm		-	-	
K	12.Max 3,5	L		
				Ajustar
				Ajustar
800			1 1	Ajustar
800	,			Ajustar
800 600				Ajustar
800 600 V (m3) 400				Ajustar
800 600 V (m3) 400 200				Ajustar
800 600 V (m3) 400 200 0				Ajustar
800 600 V (m3) 400 200 0		1.5 2	2.0 2.5	Ajustar

FIGURA 5.26 Nodo Balsa.

- Cota Solera: Cota de del fondo de la balsa. Este valor deberá mantener nivel de referencia común al resto de los *Nodos* que conforman la red.
- Niv. Mín: Nivel mínimo del líquido, respecto a la solera, admisible en la balsa *a*. Por debajo del mismo se generará una alarma.
- Niv. Inic: Valor del nivel inicial del líquido en la balsa, respecto a la solera. Para reducir la influencia de este valor en el comportamiento de la red, cuando se toman valores arbitrarios, es necesario utilizar un tiempo de simulación largo.
- Niv. Máx: Nivel máximo de líquido admisible en la balsa, respecto a la solera. Su valor no podrá estar por encima del último punto de definición de la curva de Volumen.
- ◆ Tabla H/V de Definición de la Curva de Cubicación: El usuario deberá definir a través de esta tabla cómo varía el volumen de la balsa ante diferentes alturas de llenado mediante, al menos, tres pares de valores. Es necesario que los valores sean registrados en la tabla ordenados de menor a mayor, y para que el ajuste sea fiable, especificar el par de valores para altura 0, relativa a la cota de solera. En cualquier caso, dentro del rango de valores definido en esta tabla, deberán estar incluidos los niveles mínimo y máximo asignados en las casillas anexas, explicadas con anterioridad.

Ajustar: Al pulsar este botón, desde GESTAR se analizan si los valores de cubicación de la *Balsa* insertados por el usuario son coherentes, lanzando el correspondiente cuadro de aviso en caso contrario. Una vez que el conjunto de parámetros sea consistente, desde GESTAR se llevará a cabo la representación gráfica de la *curva de Volumen/Nivel* de la *Balsa* en la parte inferior del cuadro de diálogo. (FIGURA 5.26). Se recomienda revisar la curva resultante de la interpolación y añadir puntos, adicionales si fuera preciso, para dar una correcta continuidad a la curva de cubicación.

Sólo durante la opción *Evolución Temporal* (pág. 69) se toman en consideración los datos suministrados, en el resto de opciones de cálculo instantáneo el valor que se toma es el nivel inicial.

Hasta la versión GESTAR 1.5, los *Nodos Balsa* se asimilaban a un depósito troncocónico, siendo otros los requerimientos para su definición (ver ANEXO VIII, pág. 394).

No pueden existir en una misma red simultáneamente los dos tipos de modelos de *Balsa*. GESTAR detecta automáticamente el tipo de *Balsa* contenida en el fichero "*.red" y la aplicación se abre con la opción correspondiente. Previo a la creación del primer *Nodo Balsa*, el usuario podrá modificar el tipo de definición desde el menú *Opciones/Valores por defecto / Nodos* (ver pág. 145).

NODO DE PRESIÓN CONOCIDA

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

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

siendo z la cota del Nodo respecto a un nivel de referencia común a todos los Nodos, y

 $\frac{p}{\rho g}$ la altura de presión en el *Nodo*, respecto a un nivel de referencia común a todos los *Nodos* (habitualmente la atmósfera), expresada en metros de columna de agua (mca)

Nodos (habitualmente la atmósfera), expresada en metros de columna de agua (mca).

Id. PRG1	Comentari	p	
ipo: Presión regula:	45 💌	1	
Posición (m) – ⊻ (m) = ⊻ (m) = Cota (m)=	606585,4	Altura de original de presión	(mca)
			Aunda

FIGURA 5.27 Nodo de Presión Conocida.

En la ventana de definición del *Nodo* (FIGURA 5.27) se colocará z en el recuadro de cota y $\frac{p}{\rho g}$ en el de altura de presión. Los casos más habituales de ésta última, en función del punto con que se identifique el *Nodo*, son:

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

NODO DE CONSUMO CONOCIDO

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

Id. CC1 Comentario	p
po: Consumo conocido Posición (m)	Apertura Superficie regada (ha) 1 q ficticio cont. (l/sha) 1 Rendimiento 1
Consumo © Dotación (m3/s) 0,01 Demanda (m3/s) 0,01 © Grado Libertad	✓ Regulación Presión de consigna 38
Caļcular GL=1/p	Diámetro hidrante
	ancelar Auuda

FIGURA 5.28 Nodo de Consumo Conocido.

Habitualmente, los *Nodos de Consumo Conocido* (FIGURA 5.28) corresponden a una sencilla modelización de los hidrantes dotados de reguladores de presión y limitadores de caudal que alimentan a ritmo constante, fijado por el limitador de caudal, un cierto dispositivo, siempre que la presión de alimentación se encuentre por encima de un determinado umbral característico de los elementos de regulación instalados. (Información detallada en ANEXO II. MODELIZACIÓN DE HIDRANTES, pág. 335).

ATENCIÓN: Si la presión en la red es inferior al valor de regulación del hidrante, éste no podrá suministrar el caudal fijado inicialmente como valor de demanda, por lo que en tales circunstancias el *Nodo de Consumo Conocido* no reproducirá correctamente el comportamiento del hidrante. Para considerar estos casos consultar el *Nodo Hidrante Regulador* (pág. 91).A lo largo del manual y del programa GESTAR el término "hidrante" (sin hacer mención específica a *Hidrante Regulador*) hace referencia al conjunto de *Nodos de Consumo Conocido* e *Hidrantes Reguladores*, que modelizan los hidrantes de riego.

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

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

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

Consumo: Caudal que realmente se extrae de la red en un cierto *Nodo*. En un *Nodo de Consumo Conocido* el valor del *Consumo* coincidirá con la *Demanda* cuando se abra el *Nodo*, pero no así sucederá en los *Nodos Hidrantes Reguladores* si la presión

no es suficiente (pág. 91). En *los Nodos Emisores* el *Consumo* siempre vendrá impuesto por la presión de alimentación.

En un *Nodo de Consumo Conocido*, el *Consumo*, es el valor de caudal, *C*, que aparece en la caja de texto de *Demanda* (FIGURA 5.28) en el *Nodo* (en m³ s⁻¹). El signo del mismo dependerá de si este caudal es de aporte o de extracción de la red, con el siguiente convenio de signos:

◆ *C* positivo (> 0): Demanda de caudal a la red = salida

◆ *C* negativo (< 0)*: Suministro a la red = entrada

La definición de la *Demanda* de un *Nodo* que represente un hidrante de riego, se puede hacer mediante dos procedimientos alternativos que se eligen en el sub-bloque *consumo* de la ventana de definición del *Nodo de Consumo Conocido* (FIGURA 5.28):

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

Especificación del Grado de Libertad. En el segundo procedimiento el usuario suministra el *Grado de Libertad* (*GL*) del hidrante, es decir, el inverso de la probabilidad de que una toma de este tipo esté abierta (ver ANEXO IV pág. 369). En esta opción hay que suministrar además obligatoriamente una serie de parámetros adicionales: la *Área Regada* (ha), el *Caudal Ficticio Continuo* (1 s⁻¹) y el *Rendimiento Operativo* en las cajas de diálogo correspondientes.

La notación y definición de estas variables es la siguiente

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

La relación que establece la *Dotación* en función de las anteriores variables se documenta en el ANEXO IV (pág. 369). y es:

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

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

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

Dotación Especificada

Se requiere suministrar los valores de *GL*, *D*, *r*, q_{fc} y *S*, en el sub-bloque *apertura* de la FIGURA 5.28 siendo la probabilidad:

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

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

Grado de Libertad especificado

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

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

Si se desea, se puede establecer el valor de consigna del reductor de presión asociado al hidrante que asegura que, si en la red se alcanza dicha presión, el consumo coincidirá con la demanda impuesta. Durante la salida gráfica de resultados se podrán detectar automáticamente los *Nodos* con presión de alimentación insuficiente, mostrando la variable *Margen de Presión*, que es justamente la diferencia entre la presión calculada y *la Presión consigna* que se refleja en el sub-bloque regulación de la ventana de la FIGURA 5.28. Los consumos que realmente se darán en la práctica en estas situaciones no coincidirán con los impuestos en la casilla de *Demanda*, cuyo valor seguirá impuesta como condición de consumo.

Por último, en la casilla inferior derecha, se podrá definir el diámetro del hidrante, como campo meramente informativo, mediante una secuencia de caracteres alfanuméricos.

NODO HIDRANTE REGULADOR

En este tipo de *Nodo* (FIGURA 5.29), generalización del *Nodo de Consumo Conocido*, permite reproducir el comportamiento completo de un hidrante dotado de regulador-reductor de presión y limitador de caudal, para todo el rango de presiones de alimentación. Cuando la presión en la red es superior al valor de consigna, el *Nodo Hidrante Regulador* se comporta como un *Nodo de Consumo Conocido*, suministrando un caudal de consumo igual al valor consignado en la casilla correspondiente a la *Demanda*. Todas las opciones y parámetros definibles en el *Nodo de Consumo Conocido* se encuentran presentes en el *Nodo Hidrante Regulador*. Sin embargo, si la presión de alimentación del hidrante es inferior a la de consigna, el *Nodo Hidrante Regulador* incorpora la simulación del comportamiento del conjunto hidrante-parcela mediante las curvas de respuesta presión-caudal, Se incluye además la simulación del limitador de caudal de la válvula reguladora del hidrante que evitará que, en cualquier caso, el caudal extraído supere la consigna de la parcela.

Id. [HID]	
ipo: Hidrante regulador	Apertura
Posición (m) ⊻ (m) = 606643,6 ⊻ (m) = 699509,4 Cota (m)= 0	Superficie regada (ha) 1 q ficticio cont. (l/sha) 1 Rendimien <u>t</u> o 1
Consumo	I Regulación
Demanda (m3/s) 0.01	Presión de consigna 38 Ks Hidrante (s2/m5) 15000
	<u>K</u> s Parcela (s2/m5) 68000
C Grado Libertad	N Parcela 2
Calcular GL=1/p	Diámetro hidrante



Los aspectos conceptuales de operación de los hidrantes dotados de regulador de presión y limitador de caudal, así como la estrategia numérica de su implementación en GESTAR, son recogidos en el Anexo II (pág. 335), y, en síntesis, consisten en una formulación híbrida del hidrante, de tal manera que si la presión en la red es superior a un cierto límite, $H_{limite} = K_s Q_{dot}^N$, el hidrante se comporta como un *Nodo* de *Consumo Conocido*, con consumo igual a la demanda, pero si la presión no es suficiente el *Nodo* se comporta como un emisor con una curva de comportamiento del tipo $H = K_s \cdot Q^N$.

El módulo de cálculo, en cada iteración, comprueba el nivel de presión que existirá después del hidrante con los *Elementos* de regulación completamente abiertos, H_{cal} (presión en la red calculada menos las pérdidas en la(s) válvula(s) correspondientes

al hidrante completamente abierta(s)), y modifica la modelización del hidrante, según sean los valores relativos de H_{cal} y H_{limite} , de la siguiente manera:

$H_{cal} > H_{límite}$

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

$H_{cal} < H_{límite}$

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

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

$$H = K_s \cdot Q^2$$

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

$$H = K_s \cdot Q^2$$

 Ks Parcela y N Parcela: Parámetros de la ecuación de pérdidas de la red de la parcela, según la expresión:

$$H = K_{s} \cdot Q^{N}$$

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

$$H_C = K_S \cdot Q_{dot}^N$$

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

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

NODO DE DOBLE CONDICIÓN

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

Al igual que en los *Nodos de Consumo Conocido*, se especifica un consumo igual a la *Demanda* (FIGURA 5.30), una vez fijada la *Dotación* (consumo máximo), teniendo en cuenta que los valores positivos indican extracción de caudal de la red y negativos entrada. Además, habrá que especificar la altura piezométrica suministrando valores de cota y presión en el *Nodo* de forma semejante a un *Nodo de Altura Conocida*.

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

Id. DC1	Co <u>m</u> entario	
Altura y consumo cono Posición (m) ∑ (m) = 60667 Y (m) = 63976 Cota (m) = 0 Altura de 0	cidos Consumo 0,3 4 4 1	(m3/s) 0,01 (m3/s) 0,01
presión P	Cancelar	Avuda

FIGURA 5.30 Nodo de Doble Condición.

ATENCIÓN: Por cada uno de los *Nodos de Doble Condición* impuestos se debe establecer un grado de libertad adicional, es decir, un *Nodo Libre* (pág. ¡Error! Marcador no definido.), un *Elemento Libre* (pág. 125), o un *Grupo de Tuberías Libres* (pag. 127)que serán calculados para alcanzar los valores consignados de altura y caudal.

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

NODO LIBRE

Éste es un nodo (FIGURA 5.31) que se libera de condiciones de contorno en el Análisis Inverso. En el *Nodo Libre* no se impone ninguna condición de contorno, constituyéndose en un grado de libertad (no confundir con el término *Grado de Libertad*, definido como el inverso de la probabilidad de apertura de un hidrante, pág. 87) del sistema que el programa ajustará para conseguir las condiciones impuestas en los *Nodos de Doble Condición*.

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

10. SC1	Lomentario	
ipo: Altura y cons	umo desconocidos 💌	
Posición (m) ⊠ (m) =	606590,3	
⊻ (m) =	699367,7	
Cota (m)=	0	

FIGURA 5.31 Nodo Libre.



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

El *Nodo Emisor* es un *Nodo* híbrido dado que se acompaña sistemáticamente de un Elemento Tubería (rectilíneo, sin vértices geométricos intermedios) que permanece indisolublemente vinculado al *Nodo Emisor* y cuya identificación y ventana de definición son coincidentes. En este *Elemento* se introduce la modelización hidráulica del comportamiento del emisor (ANEXO III, pág.365) mediante una función de tipo: $\Delta H = K_s Q^N$ que caracteriza la respuesta del caudal emitido, Q, respecto a la presión de alimentación relativa a la atmósfera, ΔH .

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

Tras ubicar un *Nodo* emisor, se abrirá la ventana mostrada en la FIGURA 5.32, donde se deberán introducir todos los parámetros que identifican al emisor que hacen referencia al *Punto Emisor*, a la *Tubería Asociada* y a la *Respuesta Hidráulica del Emisor*.

	%			Turno: Lurnos
nisor Posición	Fabricante		Tipo de emisor	
X = 5844,57	Rain_Bird	-	10 VAN 180	-
Y = 2426 296		Tabla	a de emisor	
2430,230	P (Atm)	Q (I/seg)	Alcance (m)	Pluv-C (m
Lota∠ = 372 m	▶ 1,0	0,0527	2,1	87
	1,5	0,066	2,5	73
Origen 3010	2,0	0,075	3	ы
Longitud: 10				<u> </u>
Eoligida. 110	Presion-Laudal		-	
	Ks: 2091634	N: 1,94573	Qn (1/s) 0	
nducción	Alcance-Presión Ks: 0,64	N: 0,509 A	Icance (m) 0	
onducción Tubería Fabricante/Refs ACME3 Vaterial Polietileno Fimbraje PE-6	Alcance-Presión Ks: 0,64 etro (mm) ropio (83 ase dat 90_(PE-6) v Nominal	N: 0,509 A Válvula Tipo: Ninguna Serie: Ninguna	Icance (m) 0 Antirretorno Cd Ks=- Xadir/Modificar	└ Válvula cerrada

FIGURA 5.32 Nodo Emisor

CONFIGURACIÓN DE LOS DATOS DEL PUNTO EMISOR

La única información referente al punto de emisión que es preciso introducir es su posición, dada por defecto según las coordenadas del "clic" de creación, y la cota del punto de emisión, ya que GESTAR asume que la presión allí es la atmosférica. La longitud, que será también asumida según su representación gráfica, podrá ser modificada del mismo modo desde la casilla correspondiente.

CONFIGURACIÓN DE LOS DATOS DE LA CONDUCCIÓN ASOCIADA

Los datos relativos a la *Tubería* asociada al *Emisor* corresponden a los mismos conceptos y operativa que cualquier otra *Tubería*, aunque las casillas de diálogo se encuentran en lugares diferentes de la ventana, por lo que se remite a la descripción de los *Elementos Tubería* (pág. 99) para su conocimiento. La consignación de los parámetros referentes a la *Tubería* es obligatoria por lo que, en caso de que esta *Tubería* no exista realmente (fugas, emisores directamente conectados a la red), deberán darse diámetros arbitrarios muy grandes (p.e. 5000mm) y/o longitudes insignificantes (p.e. 0.001m), de tal manera que la perdida de carga que introduzca el conducto sea despreciable.

<u>CONFIGURACIÓN DE LA RESPUESTA HIDRÁULICA $\Delta H = K_{S} Q^{N} DEL EMISOR</u></u>$

En cuanto a la formulación de la ecuación de comportamiento hidráulico del emisor (Anexo III, pág. 365) $\Delta H = K_s Q^N$, los valores de K_s y N pueden ser especificados:

- Suministrados por el usuario o por GESTAR como una pérdida singular en el Elemento (ver el apartado correspondiente en el Elemento Tubería, pág. 99).
- Suministrados por GESTAR, que ajustará automáticamente los valores de K_s y N a los datos de presión/caudal cargados desde la base de datos (ver pág. 331) de emisores referentes al emisor en cuestión elegido.

K_S Y N SUMINISTRADOS POR EL USUARIO O POR GESTAR COMO UNA PÉRDIDA SINGULAR

En el primer caso, la(s) pérdida(s) singular(es) se consigna mediante la especificación, si corresponde, del tipo de válvula y % de apertura colocada en la *Tubería* y/o desplegando las ventanas y utilidades de configuración de pérdidas singulares, acceso que se efectúa haciendo "clic" en la casilla *Existen Accesorios y/o Pérdidas* de la FIGURA 5.32, ubicada en su parte inferior izquierda. Si esta casilla se encuentra en blanco quiere decir que no se ha cargado ningún dispositivo que introduzca pérdidas singulares.

Así, por ejemplo, si el *Nodo Emisor* corresponde a una descarga directa desde una tubería a través de una válvula, se configurará el tipo de válvula y su % de apertura en las casillas de la esquina inferior derecha de la ventana de la FIGURA 5.32. Si la emisión tiene lugar a través de cualquier otro *Elemento* reconocido en la base de *Elementos* de accesorios o si el usuario conoce los valores de K_s y N o si dispone de pares de valores presión/caudal para ajustarlos, se activará la casilla *Existen Accesorios* y/o Pérdidas accediendo a las respectivas opciones a través de una ventana similar a la de la FIGURA 5.37 (ver detalles de configuración en pág. 108).

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

$$K_s = \frac{1}{S^2 \cdot 2 \cdot g}; \quad N = 2$$

K_S Y N SUMINISTRADOS POR LA BASE DE DATOS DE EMISORES

Cuando se selecciona un emisor de la base de datos, mediante la especificación de un fabricante y/o modelo de emisor, aparece una tabla con las características cargadas en la base de datos, que muestra, al menos, el caudal emitido en función de la presión de alimentación. Con estos valores GESTAR automáticamente aproxima mediante técnicas de mínimos cuadrados la nube de puntos presión/caudal a una función

de tipo $\Delta H = K_s Q^N$, suministrando el coeficiente K_s y el exponente N. Otro tipo de datos, que pueden ser de utilidad al seleccionar cierto tipo de emisores en riego por aspersión, como son la pluviometría y alcance en función de la presión de alimentación son mostrados aunque no intervienen en la simulación hidráulica.

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

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

Si como fabricante se toma de la lista *Fabricante* la opción <Todos> la lista *Tipo de Emisor* contendrá la relación completa de todos los emisores de todos los fabricantes. Si se selecciona un valor de la lista *Fabricante* la lista *Tipo de Emisor* sólo mostrará los emisores correspondientes al fabricante elegido. Obsérvese que la categoría *Fabricante* puede ser utilizada para estructurar y ordenar productos de una misma marca por gamas, con objeto de simplificar y reducir el tamaño de la lista *Tipo de Emisor*.

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

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

5.2.2 TIPOS DE ELEMENTOS

Un *Elemento* establece una conexión entre dos *Nodos*. Para poder incorporar un *Elemento* a la ventana gráfica deberán estar creados previamente los dos *Nodos* que conectará. Si esto ocurre, bastará con seleccionar el botón de la *Barra de Herramientas* correspondiente al *Elemento* que se desee para, a continuación, pulsar con el ratón sucesivamente sobre el *Nodo* inicial y sobre el *Nodo* final. Aparecerá por defecto un

cuadro de diálogo (salvo con el *Elemento Tubería*) donde se podrán establecer los parámetros y características del *Elemento* creado.

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

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

- ◆ Id: Identificativo de cada *Elemento*. Es alfanumérico (máximo 15 caracteres); no pueden existir dos *Elementos* de la misma red con el mismo identificativo. Se puede reservar algunos caracteres para designar la zona en la que se encuentra; por ejemplo, todos los que corresponden a un sector concreto de la red empiezan por el dígito 5 o llevan el prefijo SectorA.
- Comentario: Es una cadena de caracteres alfanuméricos (máximo 20 caracteres) en la que se puede escribir cualquier información para cada *Nodo*. Sirve para añadir comentarios adicionales, como fecha, propietario, zona...

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

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

ELEMENTO TUBERÍA

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

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

En un *Elemento Tubería* con múltiples vértices, el usuario solamente puede definir o modificar las cotas de los *Nodos* inicial y final. Las cotas de los puntos intermedios (vértices) son calculadas automáticamente mediante una interpolación. En la FIGURA 5.33 se muestra gráficamente el proceso de interpolación (en la parte superior de la figura aparece el *Elemento Tubería* tal y como la muestra GESTAR y en la parte inferior se observa en perspectiva el trazado real de la tubería). GESTAR calcula el plano (plano P en la figura) que contiene a los *Nodos* extremos de la *Tubería*

(puntos A y B) y que tiene como línea de máxima pendiente la línea (recta r) que une dichos *Nodos*. La cota de los *Nodos* intermedios (en el ejemplo sólo el punto M) equivale a la cota del punto de intersección entre el plano P y la recta vertical (recta *s*) que pasa por las coordenadas x e y definidas al ubicar el *Nodo* intermedio. La longitud asignada al tramo es la suma de las longitudes de cada uno de los tramos que componen la tubería, una vez ubicados los puntos intermedios tal y como se ha descrito. Evidentemente, esta longitud puede ser modificada editando la *Tubería* (haciendo doble clic sobre ella).



FIGURA 5.33 Conducción con múltiples vértices.

Los *Elementos Tubería* se abren haciendo un doble "clic" sobre un punto cualquiera de ellas (también se abren cuando se crean *Elementos Tubería* si se ha seleccionado la opción *Abrir al Crear* a través del menú *Opciones/ Valores por defecto/ Elementos*; por defecto esta opción está desactivada), apareciendo la ventana de la FIGURA 5.34, donde se refleja el *Nodo* inicial y final de la *Tubería* (se pueden permutar con el botón ubicado a su izquierda), y se precisa suministrar obligatoriamente los siguientes datos en las casillas respectivas:

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

◆ Caudal de Diseño. Al ejecutar la opción *Caudales de Diseño* del menú *Dimensionar* (ver pág. 151), quedará cargado para cada tramo el *Caudal de Diseño* obtenido, visualizándose a través de esta casilla, desde la cual el usuario podrá modificar el resultado de forma manual si lo desea.

Id. TU3 Comentario	=
Nodo inicial: 228 Nodo final: NU3 Longitud 328,7609 m Caudal de 0,106 m3/s Tubería Eabricante / Refs	Válvula Válvula Antirretorno Singulares
Material PVC Timbraje 10 Celeridad (m/s):	Accesorio Parámetro Valor
1 0	Pérdidas Singulares
Diámetro(mm) C Interior (propio) 290,8 Base Datos (Nominal) 315_PV(Número Ks N ▲ Añagir/Modificar <u>Elementos Singulares</u>
Aceptar	Cancelar Ayuda

FIGURA 5.34 Elemento Conducción.

• Diámetro Interior del Elemento. Está dado por defecto en el menú *Opciones/ Valores por defecto/ Elementos*, y a partir del momento en que se modifique, todos los *Elementos* creados con posterioridad adoptarán dicho valor por defecto. Se establece mediante dos opciones alternativas a las que se accede activando los botones correspondientes:

- Base de Datos: Seleccionado el conducto de una lista de diámetros normalizados, que se modificará en función del fabricante, del Material y Timbraje elegidos de la Base de Datos de Tuberías "tuberías.mdb" (pág. 322) según el procedimiento descrito más abajo.
- *Propio*: Consignado por el usuario, debe corresponder, como en la anterior opción, al *Diámetro Interior* del conducto, que no siempre coincidirá con el *Diámetro Nonimal* (opción por defecto al crear el primer *Elemento Tubería*).

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

• Factor de Rugosidad. Ha de estar en consonancia con la formulación de pérdidas elegida. Por ejemplo, si se utiliza una formulación Hazen-Willians, será el coeficiente C_{μ} de Hazen-Williams para el Material empleado. Si es la formulación de Colebrook se utilizará la Rugosidad absoluta del Elemento (en metros). Al cambiar de tipo de cálculo de pérdidas se modifica el valor pedido para el Factor de Rugosidad. La formulación para el cálculo de pérdidas se selecciona a través del menú Cálculos/ Características (ver pág. 164), y deberá ser consistente con la especificación del Factor de Rugosidad. Cuando se definen Elementos Tubería según la base de datos, el parámetro de Rugosidad que se carga es el que figura en la base de datos. Aunque habitualmente los valores existentes en las Base de Datos de Tuberías corresponden a valores absolutos de Rugosidad (metros), lógicamente el usuario podrá alterar dicho campo en la base de datos (ver pág. 322) para adecuarlo a otras formulaciones de pérdidas. Cuando el Diámetro Interior lo establece el usuario, el valor de Factor de Rugosidad por defecto es el valor que figura en el menú Opciones/ Valores por defecto/ Elementos. Dado que el Factor de Rugosidad es ampliamente variable según la antigüedad del conducto, el estado de conservación, características del agua... la casilla en la que aparece Factor de Rugosidad es editable bajo cualquier opción, por lo que el usuario siempre puede modificar dicho parámetro según su criterio. Este cambio no afectará a los registros de la Base de Datos de Tuberías. Siempre que se modifique el Factor de Rugosidad respecto a los valores por defecto este cambio se mantendrá en la creación de nuevos conductos en tanto en cuanto no se altere ninguna de las selecciones hechas para fijar el componente elegido de la Base de Datos de Tuberías.

Junto a la información obligatoria anterior de manera optativa puede incorporarse información adicional referente al fabricante, *Material*, *Timbraje* y celeridad del conducto. Estos datos pueden aportarse manualmente o seleccionarse de entre la información registrada en la *Base de Datos de Tuberías* asociada a la red. Si se utiliza la *Base de Datos de Tuberías*, el valor del diámetro interior y *Rugosidad* por defecto se establecen directamente desde la base de datos.

Al crear una nueva *Tubería* las casillas siguientes se configuran por defecto con los mismos valores que el último conducto creado.

• Fabricante/refs. Para poder hacer uso de la información contenida en la base de datos relativa a Tuberías es preciso seleccionar de la lista desplegable un fabricante o referencia técnica distinta de «Ninguno», de entre cuyos productos se tomarán las características del conducto. Al seleccionar un fabricante o referencia de la lista, los contenidos de las casillas Material, Timbraje y Diámetro/ Base Datos se configurarán reflejarán listas de parámetros que las gamas disponibles como del Fabricante/referencia elegido y que estén registradas en la base de datos "Tuberías.mdb". La asignación de diámetro a la Tubería podrá hacerse entonces, por defecto, seleccionando el Diámetro Nonimal de la lista asociada a la casilla Diámetro/ Base Datos, lista que dependerá de las selecciones adicionales existentes en Material y Timbraje.

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

◆ Timbraje: Contiene el código o valor numérico de la presión nominal de la *Tubería*. Si en *Fabricante/referencia* se ha realizado una selección, distinta de <Ninguno>, el *Timbraje* será determinado eligiendo entre los valores comerciales contenidos en la base de datos y mostrados en la lista de la casilla *Timbraje*, lista que esta condicionada a las selecciones previas en las casillas de *Fabricante/referencia* y *Material* (ver FIGURA 5.34). Si en la lista *Fabricante/referencia* se ha seleccionado el valor <Todos>, en la casilla *Timbraje*, se mostrarán todos los *Timbrajes* con código distinto de todos los fabricantes que suministren el *Material* reflejado en la casilla *Material*. En tal caso, si los mismos *Timbrajes* aparecen registrados con códigos distintos en distintos fabricantes, se mostrarán e interpretarán como *Timbrajes* distintos (p.e. PN10 ATM y PN1 Mpas).

◆ Celeridad: Contiene el valor numérico de la celeridad, esto es, de la velocidad de propagación de las perturbaciones de presión a lo largo del conducto, dependiente de las propiedades del conducto y del fluido trasegado. Si se ha empleado la opción *Diámetro/ Base de datos* se cargará el valor de la celeridad guardado para ese diámetro en la base de datos. Para cualquiera de las opciones, se permite su modificación manual desde esta casilla.

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

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

ELEMENTOS SINGULARES

Existe la posibilidad de añadir *Elementos Singulares* vinculados a la *Tubería* para poder contemplarlos en la simulación evitando tener que introducir excesivos componentes distintos. Éstos no incluyen válvulas de regulación, que se especifican de forma independiente (pág. 121). La ecuación de comportamiento de la *Tubería* es, por tanto, la correspondiente a la suma de una tubería más las pérdidas singulares (ver Anexo I, pág. 335):

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

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

Cuando una Conducción contenga *Elementos Singulares* aparecerá en el centro de la representación gráfica del *Elemento* un icono que identifica la existencia y tipo de *Elemento Singular* incluido. Se detalla a continuación la simbología posible y su significación:

🛏 Válvula de Seccionamiento

🖪 Válvula Antirretorno

🞽 Válvula de Estrangulamiento

H Elementos Singulares

Tal y como se muestra en la ventana de la FIGURA 5.34, se habilitan dos procedimientos de entrada que se detallarán a continuación: a través del cuadrante específico Válvulas, o bien mediante el cuadrante *Elemento Singular*. Si en una *Tubería* se ha definido más de un tipo de *Elemento Singular* empleando ambos procedimientos, el icono que aparezca en la *Tubería* reflejará el tipo de válvula asociada mediante la opción Válvula.

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

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

VÁLVULAS

Válvula Cerrada. Al editar cualquier Elemento Tubería, quedará accesible en el cuadrante Válvulas la casilla de verificación Válvula Cerrada, permitiendo el cierre del paso de fluido por el conducto. Así pues, para hacer uso de esta opción, no será imprescindible la especificación previa del tipo de válvula asociada.

ATENCIÓN: En redes ramificadas se deberá tener la seguridad, al cerrar el flujo en un conducto, que ningún Nodo aguas abajo del conducto cerrado donde el consumo sea conocido, aunque sea nulo, (Nodo de Consumo Conocido, Nodos de Unión, Nodo Hidrante Regulador) queda desconectado de todos los Nodos de altura piezométrica conocida (Nodo de tipo Balsa, Embalse, Presión Conocida, Doble Condición y Emisor). De lo contrario el sistema de ecuaciones no posee solución. De forma intuitiva este fenómeno puede interpretarse como la imposibilidad física de suministrar el caudal impuesto en un Nodo si algún conducto que sirve caudal al Nodo se encuentra cerrado. GESTAR detecta la existencia de Nodos que se encuentran aislados (es decir, que no poseen comunicación con una altura piezométrica de referencia, asimilables a puntos de alimentación de la red) suministrando al usuario un aviso "Conjunto de Nodos sin Altura Piezométrica de Referencia" y resaltando en el gráfico de la red mediante un círculo todos los *Nodos* que han quedado aislados. En consecuencia **NO** se debe activar **nunca** la opción Válvula de Seccionamiento en conductos de alimentación de *Nodos* terminales de ramificación donde el consumo sea conocido, aunque sea nulo, para efectuar el cierre de una toma, pues el sistema será físicamente incompatible. Para cerrar una toma o hidrante simplemente hay que utilizar la operación Abrir/Cerrar Hidrantes (pág. 81) de la Barra de Herramientas. De esta manera en el esquema gráfico el Nodo aparecerá como Nodo cerrado, estableciendo claramente el estado real del hidrante.

• Añadir/Modificar Válvula. Pulsando el botón Añadir/Modificar Válvula se accede a la ventana de la FIGURA 5.35. Las válvulas se introducen en la simulación incorporando la pérdida singular que añaden de acuerdo a la ecuación característica $\Delta H = K_S Q^N$, donde K_S y N se determinan interna y automáticamente por GESTAR mediante los valores extraídos de las *Bases de Datos de Válvulas*, en función del *tipo de válvula* y del *grado de cierre* en el caso de que se trate de una válvula de seccionamiento. El mantenimiento y ampliación de las válvulas reconocidas en *Tipo* y de la asignación de valores de K_S y N en función del grado de cierre se puede consultar en el apartado 11.4 BASES DE DATOS DE VÁLVULAS (pág. 371). El tipo de válvula se selecciona de entre la lista ofrecida en la casilla *Tipo*.

Latalogo	Fabricante		
Manual C Base Datos		e:	v
Diámetro-	Тіро:		Cierre: 🗮
Mostrar sólo las que se ajusten al diámetro interior de	Válvula de Compuerta	-	🥅 Válvula Cerrada
la tubería 147,6 mm		-	% Cierre: 0
			HOJA TÉCNICA
		FABRIC	
		SERIE:	
		CÓDIGO:	
		DN (mm):	147,6
		PN:	
		PN: PRECIO€	:
DESCRIPCIÓN DE LA SERIE		PN: PRECIO €	:
DESCRIPCIÓN DE LA SERIE		PN: PRECIO€	:
DESCRIPCIÓN DE LA SERIE		PN: PRECIO €	
DESCRIPCIÓN DE LA SERIE		PN: PRECIO€	:

FIGURA 5.35 Añadir / Modificar Válvula opción Manual

- Si el tipo de válvula seleccionada corresponde a una Válvula de • Seccionamiento, quedará accesible el grado de cierre en la casilla % Cierre, consignando manualmente el tanto por ciento que se desee establecer del recorrido total del Elemento actuador para el cierre de la válvula (valor inferior al 100% en cualquier caso; para el cierre de válvula se habilita la casilla específica Válvula Cerrada). Así a una válvula de bola que se encuentre completamente abierta le corresponderá un % Cierre de 0% mientras que si el actuador ha girado 45° el % Cierre será 50%. Se recomienda que, en caso de que el porcentaje de cierre sea elevado, a partir del 90% de cierre aproximadamente, se tomen con precaución los resultados obtenidos, dado que, en tales circunstancias, la incertidumbre en la determinación de los coeficientes adimensionales de pérdida es elevada y además el conducto se encuentra muy obstruido, lo que puede afectar a la convergencia de la solución. Las mismas prevenciones señaladas para Válvulas Cerradas (pág.105) en redes ramificadas se aplicarán en caso de un porcentaje de cierre elevado.
- Cuando se trate de una *Válvula Antirretorno*, para permitir el paso de fluido GESTAR verificará que la altura piezométrica del *Nodo* inicial de la *Tubería* es superior a la altura piezométrica del *Nodo* final, ya que las meras diferencias de presión no son significativas dado que los extremos del *Elemento* pueden estar a diferente cota.

Si se modifica en la cuadrante *Catálogo* la opción por defecto *Manual*, que permite una selección de tipo genérico de la válvula, y se activa la opción *Base de Datos*, se podrá asociar un modelo comercial en concreto. La ventana de selección de válvulas quedará tal y como se muestra en la FIGURA 5.36. Desde el cuadrante Diámetro se podrá solicitar que sólo se visualicen las válvulas que se ajusten al diámetro de la *tubería*. Deberá escogerse el tipo y subtipo (segundo desplegable) de válvula, quedando útil un listado con las diferentes válvulas disponibles para esos requerimientos en la *Base de Datos*. De la válvula seleccionada a través de este listado, quedarán reflejados en las casillas correspondientes los datos que hayan sido cargados en la *Base de Datos* referentes a *Fabricante, número de Serie, Código, Diámetro Nonimal, Presión Nominal, Precio y Descripción de la Serie.*



FIGURA 5.36 Añadir / Modificar Válvula opción Base de Datos

ELEMENTOS SINGULARES

Accesorios Tipo	Parámetro	Núm <u>e</u> ro	Pérdidas Singulare Nú <u>m</u> ero <u>k</u> 1	es <u>1</u> 2	<u>l</u>	Aju <u>s</u> tar Ks y N
$\Delta H = k \left(\mathcal{V}^2 / 2g \right)$	<u>A</u> ñ	iadir	$\Delta H = 1$	Ks Q ^N		Aña <u>d</u> ir
Elementos Singulares						
		Acces	nios			
Accesorio	Parámetro	Valor	Núm	iero	k	
1						•
1		Eļimina	ır			•
		Eļimina Pérdidas S	ır			
I Second I Número	Ks	Ejimina Pérdidas S N	ingulares			•
I Second	Ks	Pérdidas S N Elimina	ingulares			•

FIGURA 5.37 Añadir / Modificar Elementos Singulares

- Añadir/ Modificar Elementos Singulares. Cualquier pérdida singular, distinta de las producidas por Válvulas de Estrangulación, que quiera ser contemplada en la modelización hidráulica de la Tubería se introducirá en una ventana adicional que se despliega al pulsar el botón Añadir/ Modificar Elementos Singulares. La ecuación de pérdidas de los *Elementos Singulares* es del tipo $\Delta H = K_S Q^N$, donde K_S y N pueden asignarse automáticamente por GESTAR, mediante la Base de Datos de Accesorios (pág. 326), o bien definirse explícitamente por parte del usuario. Los códigos y parámetros de identificación de las pérdidas introducidas mediante el primer procedimiento aparecen listados en la ventana de definición del Elemento Tubería, FIGURA 5.34, bajo el epígrafe Accesorios. Asimismo, las pérdidas que se establecen por el usuario mediante la especificación de K_S y N se listan bajo el epígrafe Pérdidas Singulares, donde se refleja los valores de K_S y N cargados. Los coeficientes podrán ser ajustados exponencialmente introduciendo conjuntos de puntos de su curva de comportamiento (ver pág. 110). Cuando se activa Añadir/ Modificar Elementos Singulares se despliega la ventana de definición de Elementos Singulares, FIGURA 5.37, donde aparecen los bloques diferenciados: Accesorios y Pérdidas Singulares.
 - Accesorios. Los coeficientes de pérdidas de carga en las uniones de los tramos, codos, entradas y salidas a depósitos, reducciones, dispositivos de medida, y otros *Elementos* singulares que se encuentran registrados en la *Base de Datos de Accesorios* pueden ser incorporados
automáticamente. La caracterización de las pérdidas singulares en los *Accesorios* se responde a una expresión del tipo:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Frecuentemente los valores de Ks y N no son conocidos directamente o por el usuario, sino que dispone de resultados de ensayos en los que se determina la caída de altura piezométrica en función del caudal circulante. Las parejas de valores pueden ajustarse a una expresión potencial mediante una técnica de mínimos cuadrados. Para facilitar la realización del ajuste, en la ventana de definición de *Elementos Singulares*, FIGURA 5.37, se incluye el botón *Ajustar Ks y N* que da acceso a una ventana de utilidad que permite evaluar y transferir dichos parámetros. La descripción de la ventana de ajuste se describe a continuación.

AJUSTE AUTOMÁTICO

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

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

o de tipo

$$-\Delta H = AQ^2 + BQ + C$$
 (ajuste cuadrático)

aparecen en varias ventanas de funcionalidad diversa, botones para el acceso a una utilidad de ajuste de pares de puntos (Q, ΔH) por el método de los mínimos cuadrados que tiene un funcionamiento idéntico en ambos casos.

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

- Elemento Conducción: Ventana Añadir/ Modificar Pérdidas Singulares; botón Ajustar Ks y N (FIGURA 5.37, pág. 108) (ajuste potencial).
- Nodo Emisor: Cuando en su ventana de definición (FIGURA 5.32, pág. 96), se activa la casilla *Existen Accesorios y/o Pérdidas*, aparece un cuadro de diálogo idéntico al de la FIGURA 5.37, con el correspondiente botón *Ajustar Ks y N* (ajuste potencial).
- Elemento Bomba: menú Opciones/Valores por Defecto/ Elementos botón Ajustar (FIGURA 6.13, pág. 146) (ajuste cuadrático).

En el ajuste potencial, es necesario introducir, al menos, dos pares de puntos de caudal y altura para conseguir los valores de K_S y de N. Para el ajuste cuadrático se

necesitan al menos tres pares de puntos (ó dos si se desea que B=0) para poder calcular los tres parámetros, A, B y C.

En cualquiera de estos casos se abrirá la ventana de *Ajuste* semejante a la de la FIGURA 5.38.



FIGURA 5.38 Ventana de Ajuste

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

Una vez que ya se hayan añadido todos los pares de puntos deseados, se ha de pulsar el botón *Ajustar* para, por el método de los mínimos cuadrados, obtener los valores de los parámetros de las curvas correspondientes y una representación gráfica de la curva y los puntos que la ajustan.

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

Después del ajuste, al pulsar el botón *Aceptar*, los parámetros de la curva calculada se pegarán automáticamente en las casillas correspondientes de la ventana origen.

Para el ajuste parabólico, si se desea que la curva interpolada se aproxime mejor en un determinado rango a los puntos empíricos, puede aumentarse el peso de dicha zona en el ajuste por mínimos cuadrados introduciendo nuevos pares de puntos (ΔH , Q) en el sector deseado. La utilidad acepta la introducción múltiple de un cierto punto para aumentar su peso.

ELEMENTO LÍNEA DE EMISORES

Mediante el *Elemento Línea de Emisores*, GESTAR permite la modelización de ramales con emisiones contínuas, caracterizados porque los caudales entrantes y salientes son diferentes debido a la existencia a lo largo del recorrido de emisores, cuyo consumo varía en función de la presión.

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

En este apartado se va a describir el proceso de creación de los *Elementos Línea de Emisores*. Para la construcción de un gotero se hará un "clic" sobre el icono de *Elementos Línea de Emisores*, situado en la Barra de Herramientas de GESTAR. Una vez seleccionada la herramienta se procederá a la creación del *Elemento*. Para ello, se habrán dibujado previamente los dos *Nodos* (inicial y final) entre los cuales se desea insertar el *Elemento*. El *Elemento Línea de Emisores*puede estar dividido en distintos *tramos*, cada uno de ellos con diferentes características.

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

Cada vez que se crea una tramo, GESTAR demanda los datos necesarios mediante una pantalla de definición (FIGURA 5.39). Antes de que la *Línea de Emisores* quede representado en el plano, se deberán especificar una serie de parámetros en dicha pantalla, que aparecerá cada vez que se inserte un nuevo tramo.

Propiedades del EMISOR	Propiedades del CONDUCTO
Fabricante del Emisor <todos> 💌</todos>	Longitud 24 m
Tipo de Emisor	Espacio entre Emisores 1 m
	Cota del subnodo 57 m
	Fabricante <ninguno></ninguno>
	Material <ninguno></ninguno>
NH=KO ^N O=KIH ^X	
Ks 0 Coef. del 0	
	Diametro
N 10 Emission 10	
N 0 Emisor (x) 0	(• Inconor 14 mm
Agrupación de emisores	(* propio) Base
N 0 Emisor (x) 0 Agrupación de emisores 1 Emisores por agrupación 1	C Base Datos 0 mm

FIGURA 5.39 Ventana de definición de una Línea de Emisores

El formulario de la FIGURA 5.39 está dividido en dos partes: *Propiedades del EMISOR* y *Propiedades del CONDUCTO*.

- 1. Propiedades del EMISOR:
- Fabricante del Emisor: Lista desplegable en la que se concretará y elegirá el fabricante de los emisores que se intercalarán en la tubería que sirve de soporte a la *Línea de Emisores* actual.
- Tipo de Emisor: Lista desplegable en las que se especificará el modelo del gotero que se desea de entre los distintos modelos que pone a nuestra disposición el fabricante determinado en el cuadro de texto del fabricante. Una vez rellenado el tipo de emisor, automáticamente aparecerá en la cuadrícula inferior una tabla en la que se muestran los caudales que emite cada uno de los goteros, totalmente definidos por las propiedades anteriores, para diferentes presiones. Estos caudales, han sido proporcionados también por el fabricante.

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

;;;ATENCIÓN!!!. En esta base de datos están recogidos todos los tipos de emisores que contempla GESTAR. Por lo que conviene prestar atención al tipo de emisor que se va a elegir, ya que la elección de un tipo de emisor que no corresponda a

emisores de riego por goteo, probablemente originará un error, o simplemente no podrá ser satisfecha la demanda de caudal para el emisor en cuestión con las tuberías de riego por goteo (pequeño diámetro), para unas ciertas condiciones de presión.

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

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

que comparar:

$$K_d \Rightarrow \frac{1}{K_s \frac{1}{N}}$$
 $x \Rightarrow \frac{1}{N}$

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

- ◆ Agrupación de Emisores. Permite aumentar el número de puntos de riego por planta, siendo de utilidad en simulaciones de riego localizado de árboles entre otras.
 - 2. Propiedades del CONDUCTO:
- Longitud: Longitud del tramo en metros.
- Espacio entre Emisores: Distancia en metros entre los emisores definidos en el cuadro *Propiedades del EMISOR*.
- Cota del Subnodo: Se denomina sub*Nodo* al punto final de cada tramo. En este espacio, se determinará la cota de dicho punto. En el caso del último tramo, este cuadro mostrará la cota de dicho *Nodo*, y no será susceptible de ser modificada.
- Fabricante: Igual que para los emisores, de la lista se elegirá un fabricante del conducto del *Elemento Línea de Emisores*. La selección se realizará a partir de los datos recogidos en la base de datos *Goteros.mdb*, que se instala junto con la aplicación GESTAR.
- Material: Muestra los *Material* disponibles correspondientes al fabricante seleccionado en la lista desplegable superior.
- Diámetro Interior y Diámetro Nominal (Base Datos): En el caso de existir una selección de *Fabricante y Material*, se deberá seleccionar un *Diámetro Nonimal*

entre los disponibles en *Goteros.mdb*. Si no existe selección, se permite la introducción manual del diámetro del conducto.

Una vez creados y definidos todos los tramos de la *Línea de Emisores*, se ofrece una nueva ventana (FIGURA 5.40) en la que se muestran las características globales del *Elemento*.

10. JUOT	1		Co <u>m</u> entario		
Nodo Nodo	inicial 4 final 5				
	Numero de	e subelemento	is []		
	Longi	ud total	45	m	
1	Fabricante	Material	Longitud	N	Ks
-	1 <ninguno></ninguno>	<ninguno></ninguno>	45	0,623	4,7E-08

FIGURA 5.40 Ventana de definición de Línea de Emisores.

- ◆ Identificador: Se debe asignar un identificador a la *Línea de Emisores*. GESTAR asigna un identificador por defecto de la forma: GOTx, donde x es un número; de forma que para la primera *Línea de Emisores* creado asignará GOT1, para el segundo GOT2, y así sucesivamente.
- **Comentarios**: Destinado a la inserción de notas u otros comentarios que puedan servir de ayuda a la hora de recordar cualquier peculiaridad del *Elemento*.
- Número de Subelementos: Se nos recordará en este espacio el número de tarmos de que consta el *Elemento Línea de Emisores,* dotado de propiedades distintas.
- Longitud: Muestra la longitud total como suma de las longitudes de todos los tramos.
- ◆ Tabla: Esta tabla tendrá tantas líneas como Subelementos compongan la Línea de Emisores. Y en cada línea, cinco celdas revelan los parámetros más importantes de cada Línea de Emisores. Así se mostrarán en estas cinco columnas y de izquierda a derecha: el fabricante, el Material y la longitud de la tubería, el exponente de pérdidas y el coeficiente del emisor.
- Ver/ Modificar Elementos: Este botón se activa en el caso de que una sola de las líneas de la tabla anterior esté seleccionada. Su función consiste en mostrar la pantalla que muestra todos los parámetros de la *Línea de Emisores* correspondiente

a la línea seleccionada, para hacer en ella las modificaciones pertinentes, o simplemente para visualizar dichos datos.

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

ELEMENTO BOMBA

Éste es el *Elemento* activo que nos proporciona altura de impulsión, $\Delta H < 0$, en un determinado tramo.

Para crear un *Elemento* bomba, basta pulsar con el botón principal del ratón en el *Nodo* inicial, y arrastrando el ratón, terminar la creación con otra pulsación en el *Nodo* final. Todos los parámetros que el programa necesita para la construcción y simulación de una bomba están contenidos en la ventana que se abrirá automáticamente, mostrada en la FIGURA 5.41. En la parte superior de la ventana, disponible sea cual sea la pestaña seleccionada, aparece el *Nodo Inicial* (aspiración) y *Final* de la bomba (impulsión), pudiéndose permutar con el botón contiguo, y dos casillas donde se definen el identificativo (*Id.*) y posibles comentarios (*Comment.*).

Nodo impulsión: 17	BOM1			
Datos bomba	Gráfico Q-H	I-P: Gra	fico Q-H-R:	Gráfico Q-H-NPSH
Bomba parada		<u>D</u> as	piración (m): 0,0	063
-Curvas Característic Caudal - Potenc Caudal - NPSH	as cia			
Base de dato	5	R.P.M.:	N ₂	Simular N2
				Calcular N2
Q (m3/s)	H (m)	P (KW)	Rend (%)	NPSH (m)
0.0005	0.8			
0,001	0			
				-
				No

FIGURA 5.41 Ventana de definición del Elemento Bomba.

Desde la pestaña *Datos Bomba*, se introducen los datos que caracterizan la bomba, permitiendo desde GESTAR diversas opciones de definición que a continuación se detallan:

- Entrada Tabular de Datos. La entrada de datos se realiza desde una única cuadrícula disponible en la parte inferior del cuadro de diálogo de la FIGURA 5.41, con propiedades *copiar/pegar/cortar/* compatibles con los objetos Office. Como mínimo es preciso introducir tres pares de valores caudal altura de impulsión, recomendándose incluir datos desde el caudal nulo (válvula de impulsión cerrada) hasta el máximo previsible. Los caudales deben introducirse en orden creciente y no puede haber dos valores de caudal repetidos.
- **Bomba Parada.** Al activar esta opción, la bomba se encuentra en posición de *Paro*. Permite que la bomba esté en posición *Marcha/Paro* independiente de que se cierre o no la válvula de impulsión. Si existe dicha válvula, no podrán estar simultáneamente cerrada la válvula y parada bomba, ya que dejan aislado al *Nodo* de impulsión. **ATENCIÓN:** Confirme que el paro de la bomba, que lleva implícito el cierre del mecanismo lógico de retención, no deja sin altura piezométrica de referencia al sistema que la bomba alimenta.
- Diámetro de Aspiración. Es el diámetro de la brida de aspiración, y puede corresponder al del *Elemento* pasivo anterior. Se utiliza para el cálculo de la velocidad en la brida de aspiración, necesaria para determinar el *NPSHA* (*disponible*).
- Curvas Características Adicionales. Desde este cuadrante se facilita de forma opcional la definición de las Curvas de Potencia Absorbida, Rendimiento y NPSH de la bomba. Como se observa, no será imprescindible para la construcción y simulación hidráulica básica del sistema, sin embargo el hecho de suministrar estos datos podrá darnos una información valiosa a la hora de considerar los aspectos energéticos y prevenir la cavitación.
 - Caudal Potencia. El usuario activará esta opción si desea obtener las curvas de *Potencia Absorbida* y *Rendimiento de la bomba*. Será necesario que desde la tabla de entrada de datos inserte uno de los valores, *Potencia/Rendimiento*, para cada par de datos *H-Q* de la bomba. El parámetro restante, *Rendimiento/Potencia*, quedará definido secundariamente. Se recomienda introducir los datos de *Potencia Absorbida* preferentemente a los de rendimiento, puesto que este último es un parámetro deducido de las medidas directas de potencia y la Potencia Absorbida, para caudal cero, queda indeterminada.
 - Caudal NPSHR. Seleccionando esta opción, quedará disponible la columna NPSHR en la tabla de entrada de datos, permitiendo la inclusión de los puntos para la construcción de la curva. Esta curva será tenida en cuenta a la hora de comprobar si la bomba cavita o no. La verificación de cavitación se realiza a la hora de *calcular*, y para ser advertida por el usuario, se deberá haber marcado previamente en la pantalla de *Alarmas* la opción de *Cavitación*. Cuando el programa, en su proceso de cálculo, encuentra una bomba, comprobará si se activó el botón de alarmas por cavitación, y si es así calculará el *NPSHA* (disponible), para el caudal calculado, y tomará el

valor del *NPSHR* (requerido) de la curva introducida por el usuario. Si verifica que el valor del *NPSHA* (disponible) es menor que el *NPSHR* (requerido), se mostrará un aviso al usuario advirtiendo de la situación. Este aviso varía según el tipo de cálculo que se haya realizado.

Lriterios de l	púsqueda			
-Posición-		-Punto de se	ervicio buscado	
 Horizont Vertical 	al	Caudal Q Caudal Q	(m3/s) 0,05 (m3/h) 180	Altura H (m) 45 Buscar
tura H		Modelos:		Créfere II O de la bamba calescianada
UR_BEV.mdb	•	BEV-14D		T Granca H-Q de la bomba seleccionada
ódigo Mo 43 BEV-22 42 BEV-22	delo Rodete B 389 B 402	e Serie H(m) ITUR 51,38 ITUR 58,02	PKw R% 140,40 17,93 161,61 17,59	с.н 55
			۴	+ 45 + + 40
Q(m3/h) 0	H(m) PKw 53,032 145	0 NPSH 5,794 6,12	RENDIM 0,0	^m 35 30
502,708	48,194 153	3,971 6,025	42,8	25
1499,285	36,073 188	3,142 7,152	78,3	0 500 1000 1500 2000 Q (m3/h)
				Punto de servicio buscado Torneando Rodete hasta: 367 Q2 H2 P2 R1 0,05 45,45 110,35 19,98 Aplicar torneado
Característic	as bomba sele	eccionada —		
Modelo		BEV-22B		Cod. Bomba 43
Posición	Н	IORIZONTAL		Rodete (mm) 389
Serie		ITUR		R.P.M. Max 3000
Precio	0			R.P.M. 1450 Agregar bomba

FIGURA 5.42 Elección de la bomba desde una Base de datos.

Base de Datos. Los puntos que definen las curvas de la bomba pueden extraerse de una base de datos, lo cual se efectúa por medio de este botón, Base de Datos (FIGURA 5.41), que conduce al usuario a la ventana de la FIGURA 5.42. Desde esta ventana el usuario podrá hacer una selección directa de la bomba eligiendo dentro de cada *Bases de Datos de Bombas* un *Modelo y Tipo de Rodete*, mediante las correspondientes pestañas desplegables. Los datos de la bomba seleccionada (*Altura de Impulsión, Potencia Absorbida, NPSH y Rendimiento*) se adjuntan en la tabla denominada *Curva Característica de Funcionamiento*, representándose gráficamente su curva H-Q y el punto buscado. A su vez, en el cuadrante *Características Bomba Seleccionada*, se encuentran los parámetros más relevantes de definición de la bomba elegida, almacenados en la *Base de Datos* (para conocer)

el procedimiento de generación y edición de *Bases de Datos de Bombas*, ver Apartado 11.6 BASES DE DATOS DE BOMBAS, pág. 332). Si se trata de una bomba multietapa, quedará accesible en este mismo cuadrante la casilla *Etapas*, donde se podrá especificar el número deseado de etapas conectadas en serie.

- **Buscar.** A través de este botón, se puede automatizar el proceso de búsqueda de la bomba que más se adecue a las condiciones de trabajo, de entre las recogidas en la *Bases de Datos de Bombas* seleccionada. En el cuadrante *Criterios de búsqueda* deberá definirse la *Posición* de la bomba (horizontal o vertical) y el *Punto de Servicio* (caudal y altura de impulsión). El criterio de selección filtra bombas que suministran una altura igual o mayor en un 20% a la del *Punto de Servicio* y un caudal superior al caudal del *Punto de Servicio*, lo que permitirá poder adaptar las bombas seleccionadas mediante un torneado de rodete (o una reducción de rpm) si su curva no se adapta exactamente al *punto de servicio*. Finalizado el proceso, se abrirá una nueva casilla en la ventana la con la lista de bombas resultado de la búsqueda ordenadas en función de su rendimiento.
- Aplicar Torneado. Esta opción quedará visible cuando se haya realizado la búsqueda de la bomba a partir de la definición del *punto de servicio*. Si la bomba resultante no se adapta de forma exacta a este punto, se precisará en el cuadrante *Punto de servicio buscado* el nuevo diámetro al que se debe tornear el rodete, así como los valores de altura, potencia y rendimiento que se obtendrán para el caudal del *punto de servicio* una vez torneado éste. Al pulsar el botón *Aplicar torneado*, se representará la curva de funcionamiento de la bomba con el rodete modificado.
- Agregar Bomba. Por medio del botón *Agregar Bomba* se cargan todos los puntos de interpolación de la bomba en la tabla de entrada de datos del cuadro de diálogo de la FIGURA 5.41. Si previamente se había llevado a cabo el proceso *Aplicar torneado*, quedarán cargados los puntos de definición de la curva de la bomba con el nuevo diámetro de rodete. En el caso de que se trate de una bomba multietapas con un número de etapas distinto a uno, se obtendrán los valores de la curva de funcionamiento para el número de etapas fijado.
- Ajustar Curvas. Al pulsar este botón en la ventana de la FIGURA 5.41 se transferirán los datos desde tabla de *Altura de Impulsión, NPSHR, Potencia Absorbida* y *Rendimiento* en función de *Caudal* al módulo de representación gráfica de los mismos y de las curvas interpoladas entre valores dados. Accederá a través de las pestañas *Gráfico Q-H-P, Gráfico Q-H-R* y *Gráfico Q-H-NPSHR*, que se muestran en la FIGURA 5.41. En cada una de ellas se representa simultáneamente la curva *Altura de Impulsión Caudal* y otra curva adicional (*Potencia Absorbida, Rendimiento* y *NPSHR*), en el caso de que hayan sido definidas.



FIGURA 5.43 Representación gráfica de las curvas de Altura de Impulsión y Potencia.

- ♦ R.P.M. Desde este cuadrante se permite predecir la nueva curva de funcionamiento de la bomba al variar su velocidad, a partir de los datos de entrada tabulados (será necesario haber definido al menos tres pares de datos *H-Q*).
 - Simular N2. Definido en la casilla N2 el valor correspondiente a las nuevas rpm., al pulsar este botón desde GESTAR se facilitará la nueva curva de funcionamiento a N2 rpm tabulada y los gráficos que incluirán las representaciones de curva anterior y la actual.
 - Calcular N2. El usuario deberá rellenar previamente las casillas de *H* y *Q* que constituyen el punto de servicio buscado. Al pulsar *Calcular N2*, GESTAR calcula la nueva velocidad de giro en rpm. a la que debe funcionar la bomba a para que su curva de característica *H-Q* pase por ese punto de servicio. Una vez obtenido el valor de las nuevas rpm. podrá obtener la nueva curva de funcionamiento con el botón simular *N2*, tal y como se explica en el párrafo anterior.

Si el usuario lo prefiere, puede acceder a la formulación con un ajuste parabólico único en todo el rango de caudales desde el menú *Opciones/Preferencias/Elementos*, mediante la desactivación de la opción *Splines* en el cuadrante *Bombas*, pero no pueden existir en una misma red simultáneamente los dos tipos de formulación. GESTAR 2008 detecta automáticamente el tipo de definición de la bomba contenida en el fichero *.red y la aplicación se abre con la opción correspondiente. Para cambiar de un modelo a otro, pueden eliminarse todas las bombas y tras activar/desactivar (menú *Opciones/Preferencias/Nodos*) el tipo deseado, y proceder a definir de nuevo los grupos de impulsión.

El Elemento Bomba posee por defecto internamente una válvula de retención (dispositivo lógico) que no permite que el flujo se invierta respecto a la definición de la impulsión. En consecuencia, NO debe colocar válvulas de retención adicionales aguas abajo de la impulsión, ya que al parar la *Bomba*, quedarían aislado el nodo final de la bomba.

RECOMENDACIÓN: En redes con bombeos directo, para no dejar la red sin referencia de presión (nodos aislados) en situaciones donde los equipos de bomebo se encuentarn parados (y su la vávula de retención interna cerrada), colocar un "By-Pass" con válvula de retención entre el punto de aspiración y la zona de impulsión.

Asimismo si el caudal de circulación excede el valor máximo admisible por la bomba, esto es, si la altura piezométrica en la impulsión es inferior en la salida que en la entrada a la bomba y la bomba se comporta como un componente disipador de energía, aparece un aviso de *Desbordamiento de la Bomba*. Para el cómputo del punto de funcionamiento de la bomba en esta circunstancia se extrapola el mismo ajuste polinómico de la curva característica de la *Bomba* para la región de alturas de impulsión negativas (pérdida de carga positiva).

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

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

ELEMENTO VÁLVULA REGULADORA

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

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

Las válvulas reguladoras de presión son Elementos que se encuentran diseñados para mantener una determinada presión en un Nodo, aguas abajo o aguas arriba del mismo. Para que los valores de consigna se interpreten correctamente, hay que definir las válvulas reguladoras entre dos Nodos que se encuentren a la misma cota.

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

Una vez seleccionada esta herramienta, tras hacer un "clic" en el *Nodo* inicial y otro en el *Nodo* final, de forma automática aparecerá la ventana mostrada en la FIGURA 5.44, donde quedan reflejados el *Nodo* inicial y final de la válvula seleccionados (se pueden permutar con el botón contiguo).

Catá (•	ilogo: Base Datos	C Manu	val Fabricant	te: dos	⊂ Fal	prican		. Ir
Tip	oo: Reductora	a de Presión		.	R			HOJA TÉCNICA
	Estricanto	Leedie	Ιτάριοο	DN (m				ACHEL
•	ACME1	771	771030001001	300	16		FABRIC:	ALMET
-	ACME1	771	771030002001	300	16		SEBIE	771
-	ACME1	771	771030007001	300	16	-	e Erine.	
_	ACME1	771	771030004001	300	16	_	CÓDIGO:	771030001001
-	ACME1	771	771025002001	250	16	_		
-	ACME1	771	771025001001	250	16	_	DN (mm)	300
-	ACME1	771	771025004001	250	16	-		
	ACME1	771	771025007001	250	16		PN:	16
1.	ACUES	774	77100001001	200	10		PRECIO	11783
DE PN au	SCRIP DE LA I 16, Piloto 263 tomático y man	SERIE: I AP, 2 vías. Iual.	Montada en cobre	con mani	ometros	y llav	es de paso.	Mando de apertura
-C	oeficientes válv Ks: (s2/m5) [1	vula abierta:	Kv: (m3/s) 0,985	5	Calcu	ular Ks	Presión consig	n de na (m.c.a.) 38

FIGURA 5.44 Elemento Válvula.

- ♦ Catálogo.
 - **Base de Datos**. Mediante esta opción, el usuario podrá elegir de entre las válvulas registradas en la *base de datos* (ver apartado 11.4 BASES DE DATOS DE VÁLVULAS, pág. 327), aquella que se adecue a sus requerimientos. En el listado de selección, aparecerán únicamente las

válvulas que correspondan al tipo especificado en la pestaña desplegable inmediatamente superior. En función de los datos cargados en la *Base de Datos*, se visualizará el *Diámetro Nominal* (mm), la *Presión Nominal*, número de *Serie* y *Código* para cada una de las válvulas. Para la válvula escogida, estas características, junto con el *precio* y la *descripción de la serie* se reflejan en casillas independientes a la derecha de la lista, desde donde pueden ser editadas.

- **Manual**. En el caso de que la válvula que se desea colocar no se encuentre registrada en la base de datos, se podrá insertar de forma manual activando esta opción. Quedará habilitada la casilla *DN* (mm), donde el usuario deberá especificar el *Diámetro Nonimal* de la válvula.
- Todos / Fabricante. Este cuadrante queda disponible cuando se realiza la selección de la válvula desde una *base de datos*. Por defecto se activa la opción *todos*. Si en cambio se escoge la opción *Fabricante* se podrá acceder a la casilla desplegable donde aparecerán los diferentes fabricantes de los que se han cargado datos para el *tipo de válvula* actual, si existiesen varios en esa la *base de datos*. En la lista de selección de válvulas (FIGURA 5.44) se mostrarán únicamente las válvulas del *Fabricante* adoptado.
- **Tipo de Válvula**. Desde esta casilla hay que elegir el tipo de dispositivo a modelar entre los reconocidos.
 - **Reductora de Presión**. El *Nodo* regulado es el *Nodo* aguas abajo del sentido definido de circulación del flujo en el *Elemento*.
 - **Sostenedora de Presión.** Se identifica el *Nodo* regulado con el *Nodo* aguas arriba del sentido definido de circulación del flujo en el *Elemento*.
 - Limitadora de Caudal. El *Nodo* regulado es el *Nodo* aguas abajo del sentido definido de circulación del flujo en el *Elemento*.
- ♦ Coeficientes Válvula Abierta.
 - Ks (en S.I: s^2/m^5): Es el coeficiente dimensional de la expresión $H = K_s \cdot Q^2$, que determina las pérdidas de carga singulares en la válvula cuando ésta se encuentra completamente abierta sin acción reguladora. No se admiten Ks nulos. Para conseguir un buen comportamiento en la simulación de estos dispositivos es necesario suministrar unos valores realistas de los mismos puesto que valores arbitrarios excesivamente altos o bajos pueden inducir comportamientos anómalos.
 - Kv (en S.I: m^3/s): Es el coeficiente de caudal con válvula completamente abierta en unidades métricas. Es un factor de diseño que relaciona la diferencia de presión (Δp) entre la entrada y salida de la válvula con el caudal (Q). Cuando se incluya la válvula de forma manual, si se desconoce el valor de Ks y sólo se cuenta con la información de Kvfacilitada por parte del fabricante, GESTAR calculará a partir de éste el valor de Ks (botón *Calcular Ks*). Su expresión de cálculo es la siguiente:

$$\mathrm{Kv}(\theta) = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p/s}}$$

Siendo Δp la variación de presión o pérdida de carga y s la densidad relativa del agua.

Se detalla a continuación la expresión que relaciona ambos coeficientes:

$$Ks(\theta) = 10/(Kv(\theta))^2$$

- Valores de Consigna. El valor que deberá imponerse en esta casilla, en la parte inferior izquierda de la FIGURA 5.44, se modificará según sea el *tipo de válvula*.
 - **Presión de Consigna (m.c.a.).** Es la presión en metros a mantener en el *Nodo* regulado. Deberá fijarse en las válvulas tipo *Reductoras* y *Sostenedoras* de presión.
 - Caudal Límite (m³/s). Será el valor de consigna que deberá asignarse para las válvulas *Limitadoras de caudal*.

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

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

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

PRECAUCIONES EN LA UTILIZACIÓN DE VÁLVULAS REGULADORAS:

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

Incompatibilidades en redes ramificadas.

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

En consecuencia si la Válvula Reguladora se ubica en un ramal, aguas abajo de la misma deberán modelarse las tomas de agua como Nodos Hidrantes Reguladores (ver pág. 91 para la definición de Nodos Hidrantes Reguladores). GESTAR discriminará los Nodos Hidrantes Reguladores que pasarán actuar como Nodos emisores y automáticamente configurará las condiciones de contorno necesarias para encontrar la distribución real de caudales en los ramales ante la actuación de las Válvulas Reguladoras.

Incompatibilidades e inestabilidades en la combinación de válvulas.

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

ELEMENTO LIBRE

El *Elemento Libre* permite realizar diseños, ajustes y obtención de parámetros de control para la optimización de una red sin necesidad de recurrir a procesos de tanteo. Cuando se define este *Elemento* entre dos *Nodos* determinados de la red se obtiene el

caudal y la diferencia de alturas piezométricas en los extremos, con lo cual GESTAR determina la resistencia hidráulica necesaria en el tramo, si éste resulta de tipo pasivo (ΔH y Q del mismo signo), o el punto de funcionamiento del *Elemento* de impulsión que sería necesario intercalar en el tramo de la red, si es un *Elemento* activo (ΔH y Q de signo contrario).

d. ESK1	Co <u>m</u> ent.	
Calcular (si es	pasivo)	
C <u>D</u> iámetro (r	n)	
C Longitud (n	n)	
C <u>B</u> ugosidad	(m)	
Acceptor	Cancelar	Auuda

FIGURA 5.45 Elemento Libre.

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

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

Al ser el *Elemento Libre* una herramienta de Análisis Iinverso que incorpora una nueva incógnita al sistema, se necesita añadir un nuevo dato como condición de contorno al problema, es decir, por cada *Elemento Libre* definido, se ha de incluir un *Nodo de Doble Condición* (ver pág. 93).

GRUPOS TUBERÍAS LIBRES

Esta herramienta ofrece la posibilidad de ajustar el diámetro o la *Rugosidad* común de un grupo de *Tuberías, Grupo de Tuberías Libres*. El valor desconocido inicialmente, y que es preciso ajustar, de cada grupo se convierte en una nueva variable incógnita del sistema.

Por cada *Grupo de Tuberías Libres* que se establezca, la red deberá contener un *Nodo de Doble Condición* (ver pág. 93) para que el sistema de ecuaciones (2.6) sea resoluble.

Al activar esta herramienta, se abrirá una ventana (FIGURA 5.46) en la que se configuran uno o dos de los tipos de grupos mencionados (*Diámetro Desconocido* y *Rugosidad Desconocida*). Se comienza seleccionando del listado de identificadores de aquellas *Tuberías* que se deseen que formen parte de un *Grupo de Tuberías Libres* para, a continuación, pulsar los botones *Hallar Diámetro* o *Hallar Rugosidad* que trasladan los identificadores desde la lista izquierda (*Tuberías*) a la lista de la derecha correspondiente de *Grupos de Tuberías Libres*, aunque futuras versiones contemplarán la existencia de varios *Grupo de Tuberías Libres*, aunque futuras versiones contemplarán la existencia de varios *Grupo de Tuberías Libres* de tipo *Diámetro Desconocido* y *Rugosidad Desconocida*, pudiendo un *Elemento* estar en un solo grupo de cada tipo.

Para eliminar una *Tubería* de un *Grupo de Tuberías Libres* se han dispuesto los botones *Devolver*, que están disponibles cuando se selecciona una Tubería de sus listas correspondientes.

<u>C</u> onducciones:			☐ Diámetro desconocido-	
TU2 TU1	Â	Hallar diámetro >>	<u>N</u> úmero de grupo:	1 +
TU3 TUS	=			
TU5				
TU8 TU7		<< Devolver		
TU10				
TU9 TU12			Rugosidad desconocida	1
TU11		H <u>a</u> llar rugosidad >>	Nú <u>m</u> ero de grupo:	1
TU16				
TU15				
TU17		<< Devolver		
1019 TU22				
TU21			Acentar	Cancalar

FIGURA 5.46 Grupo de Tuberías Libres.

Los grupos que vayamos creando van a ser representados en el mapa gráfico con diversos colores, magenta para los grupos cuyo ajuste vaya a ser la *Rugosidad* y amarillo, para los del diámetro. Una vez definidos los *Grupos de Tuberías Libres*, y aceptada la pantalla, GESTAR tendrá en cuenta los grupos formados. Así a la hora de mostrar los identificadores, si un *Elemento* pertenece al grupo primero de los *Elementos*

a calcular con diámetro indeterminado, su identificador pasa directamente a ser (GD-1)X siendo X el antiguo identificador, si es del grupo dos pasará a ser (GD-2)X y así sucesivamente. De la misma manera, si la variable incógnita no es el diámetro sino la *Rugosidad*, el identificador será (GR-1)X.

Cuando uno de estas *Tuberías* perteneciente a un *Grupo de Tuberías Libres*, salga de uno de estos grupos por deseo expreso del usuario, los identificadores y colores del mismo volverán a ser los habituales para las *Tuberías*.

6 MENÚS DE PROGRAMA

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

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

La barra completa de menús es la que se presenta en la FIGURA 6.1:

🎽 Fichero Edición Ver Opciones Dimensionar Cálculos Resultados Alarmas Regulación bombeo Ayuda

FIGURA 6.1 Barra de Menús.

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

MENÚ FICHERO 131

Red Nueva (CTRL + N) 1	31
Abrir digitalización 1	33
Abrir Red (CTRL + O)1	<u>33</u>
Abrir Resultados 1	33
Abrir Informe de Alarmas 1	33
Importar1	33
Calcular Base de Datos1	34
Cerrar Red 1	34
Guardar Red (CTRL + S)1	34
Guardar como 1	34
Exportar1	35
Unir Redes1	35
Insertar Fondo 1	35
Modificar Bases de Datos 1	36
Ajustar Página1	36
Imprimir 1	36
Imprimir red en Pportapapeles 1	36
Configurar Impresora Virtual Dimensionado	136
Salir1	37

MENÚ EDICIÓN

137

Deshacer/Imposible deshacer (CTRL + Z)	137
Rehacer/Imposible rehacer (CTRL + Y)	137
Cortar (CTRL + X)	137
Copiar (CTRL + C)	137
Pegar (CTRL + V)	138

MENÚ VER

138

Buscar (CTRL + F)	138
Escala	138
Zoom	138
Visualización	139
Etiquetas	141
Ver Flechas de Sentido	142
Mostrar Nodos (F5)	142
Mostrar <i>Elementos</i> (F6)	142
Ver valores en Nodos (F7)	142
Ver valores en <i>Elementos</i> (F8)	142
Ver Iconos Emisores	143
Señalar Números Nodos y Elementos (F9)	142
Leyenda	143

MENÚ OPCIONES 143

Preferencias	143
Valores por Defecto	145
Demanda Aleatoria	147
Modular Consumos	147
Abrir/Cerrar Hidrantes	148
Editar Comentarios	148
Informe de Rred	149
Coste Elementos seleccionados	150

MENÚ DIMENSIONAR	151	
Caudales en Línea	151	
Optimización	151	
MENÚ CÁLCULOS	248	
Calcular (CTRL + E)	156	
Recalcular (CTRL + R)	156	
Automático (CTRL + Á)	157	
Parámetros	158	
Características	164	
Grupos Tuberías Libres	168	
MENÚ RESULTADOS	168	
Listado Numérico	168	
Resultados en Evolución	169	
Código de Colores (CTRL + L)	169	
MENÚ ALARMAS	169	
Configuración	170	
Informe de Alarmas	170	
Niveles en <i>Balsa</i> s	<u> </u>	5
Guardar Casos Críticos	175	2
Hidrantes Desbordados	175	
Cavitación en Bombas	175	
MENÚ REGULACIÓN DE BOMBEO	175	
Curva de Consigna	176	
Selección de Bombas	176	
Función de Probabilidad del Caudal Bombeado	177	
Regulación de Bombeo	178	
Costes Energéticos	179	
MENÚ AYUDA	179	
Ayuda	179	
Acerca de GESTAR	180	

6.1 MENÚ ARCHIVO

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

Red Nueva (CTRL + N)

Permite crear una red utilizando las herramientas y opciones implementadas en GESTAR para tal fin, de manera que el cursor actúa como un digitalizador con el que se

introduce los *Nodos* y *Elementos* de la red. Se genera una nueva ventana *Mapa*, que contiene el conjunto de la red.

Aparecerá el cuadro de dialogo representado en FIGURA 6.2, en la que el usuario deberá asociar una *Base de Datos de Tuberías* de nueva creación o existente a la nueva red.

🖉 Gestión Base Dat	tos	Tuberías. Red actual: .	Base Datos:					×
D Nuevo	•	វ៉ែន Agregar BD Existente	Duplicar Base Da	itos	× Eliminar		↓ Editar	Editar Tabla Tuberías
Asociar a Red Nueva								
🗄 🖉 Tuber	rias	2.mdb			Material:			Rugosidad (mm):
🗄 🛃 Tuber	rias	_ejemplo.mdb			Timbraje:			Presión max (mca):
				Tub	perías:			
						2]
					A	ceptar	Cano	celar Ayuda
								Salir
1								

FIGURA 6.2 Gestión Bases de Datos Tuberías.

A continuación desde la ventana de la FIGURA 6.3 se permite la configuración por el usuario del *Punto Origen* de visualización y las *Coordenadas Máximas* para la ventana de representación gráfica, así como el área visible inicialmente. Estas variables pueden ser modificadas posteriormente llamando a la opción *Ver/ Escala* de la barra de menús (pág. 138). La operación de esta ventana ha sido descrita en pag. 55

amano X(m)	máximo del mapa	Forzar	
⊻(m)	1000		
Porcer	ntaie en ventana: 100 '	»	
	najo on ventaria. 100 -	°	
•		° ▶	
↓ Drigen		* •	
◀ Origen ≺ Orige	n (m) 0		

FIGURA 6.3 Escala.

Desplazamiento	×
Desplazamiento <u>H</u> orizontal	1000
Desplazamiento ⊻ertical	1000
Aceptar	Cancelar

FIGURA 6.4 Desplazamiento del Origen de Coordenadas.

Abrir Digitalización...

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

Para obtener más información acerca de esta opción, consultar el apartado 7.3 ABRIR DIGITALIZACIÓN de este manual (pág.185).

Abrir Red (CTRL + O)

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

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

<u>Abrir Resultados</u>

Con esta opción es posible visualizar los resultados de cálculos de redes que hayan sido guardados con el botón *Guardar* de la ventana *Resultados* (ver pág. 168).

Los ficheros que almacenan los resultados de los cálculos de GESTAR tienen la extensión ".sal".

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

Abrir Informe de Alarmas

Permite la apertura de los *Ficheros de Alarmas* guardados desde la ventana de *Alarmas* (ver pág.169). Los *Ficheros de Alarma* tienen la extensión *.*ifa*.

<u>Importar</u>

Desde AutoCAD.

Posibilita la generación de la topología de la red a partir de un dibujo de AutoCAD (versiones comprendidas en 2002 y 2008). Previamente, deberá abrirse el dibujo que se pretende asociar desde AutoCAD, quedando activo durante la transformación para que la captura desde GESTAR se realice de forma correcta.

Esta opción quedará accesible sólo en el caso de que no se encuentre ninguna red abierta desde GESTAR.

Se realiza un análisis detallado de cómo se debe llevar a cabo este procedimiento en el apartado 7.5.1 REQUISITOS DEL DIBUJO A IMPORTAR DESDE AUTOCAD (pág.195).

Base de Datos ACCESS.

Permite abrir redes guardadas en el formato de la aplicación (extensión "*.mdb") con la opción *Exportar/Base de datos ACCESS*.

Para obtener más información acerca de esta opción, consultar el apartado 7.4.3 IMPORTAR LA RED DESDE UNA BASE DE DATOS ACCESS (pág. 194).

Cerrar Red

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

Los ficheros que almacenan las redes guardadas con GESTAR tienen la extensión ".red".

Guardar Red (CTRL + S)

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

<u>Guardar como...</u>

Permite guardar la red con cualquier nombre especificado por el usuario (opción útil para crear redes que se diferencian muy poco unas de otras).

<u>Exportar</u>

AutoCAD

Esta opción del menú permite generar el dibujo de la red en AutoCAD con la información que se considere oportuna acerca de los *Nodos* y *Tuberías* que la conforman. Deberá estar abierto previamente el programa de AutoCAD con un dibujo en blanco abierto, donde GESTAR verterá la topología de la red con las variables requeridas por el usuario.

Para obtener información precisa acerca de esta opción, consultar el apartado 7.5.3 EXPORTAR RED A AUTOCAD (pág.205).

Base de Datos ACCESS.

Permite guardar redes en el formato de la aplicación ACCESS (extensión *.mdb).

Se recoge información detallada de esta opción en el apartado 7.4.1 EXPORTAR LA RED A BASE DE DATOS ACCESS (pág. 190).

Fichero Epanet.

Gracias a esta opción, es posible la comunicación (exportar) de GESTAR con la aplicación *EPANET* generando ficheros para esta última en versión 1.1e.

La exportación de datos de la red a *EPANET* se realiza mediante la creación de los ficheros "*.map" y "*.inp" correspondientes a la red presente en la ventana gráfica. Esta opción sólo es aplicable a redes que contengan únicamente *Elementos* pasivos, no admitiéndose *Bombas*, *Válvulas Reguladoras*, *Elementos con cualquier tipo de pérdidas singulares* ni *Elementos Libres* y permitiéndose solamente identificadores numéricos para Nodos y Elementos (restricción de EPANETv1.1e). En cambio, se aceptan Nodos de Unión, Consumo Conocido y Presión Conocida.

Unir redes

Este comando permite crear una red de GESTAR partiendo de otras dos ya existentes. Las redes a unir deberán haber sido guardadas previamente. Se detalla el modo de actuación en el apartado 7.6 UNIR REDES (pág. 208).

Insertar Fondo

Permite utilizar un fichero de imagen como fondo de la ventana gráfica de GESTAR. Los tipos de ficheros de imagen permitidos son "*.bmp", "*.gif" y "*.jpg".

Cuando se ha insertado un fondo en la red, este comando permite eliminarlo (*Quitar Fondo*).

Dimensionado de la Red

El funcionamiento de este comando es equivalente al del botón *Dimensionado de la Red* de la *Barra de Herramientas* (ver pág. 61)

Modificar Bases de Datos

GESTAR ofrece la posibilidad de hacer el mantenimiento de todo el sistema de bases de datos (*Tuberías, Tuberías Porta Goteros*, *Accesorios, Válvulas, Emisores, Bombas* y *Tarifas Eléctricas*) desde el propio programa, sin necesidad de tener que recurrir a *ACCESS*.

El procedimiento sobre cómo hacerlo está detallado en pág. 297.

Ajustar Página...

Con esta opción se permite especificar, de cara a una impresión posterior, la impresora, el tipo de papel, el origen de la alimentación y la orientación del papel.

Imprimir...

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

Previamente se abre una ventana en la que se debe especificar la impresora y el número de copias a imprimir. Al pulsar el botón *Aceptar*, el sistema procederá a la impresión con estos parámetros y con los especificados en la opción previa *Ajustar página*.

Para la impresión de los resultados de los cálculos, deberá utilizarse el botón *Imprimir* de la ventana *Resultados*.

Imprimir Red en Portapapeles

Guarda en el portapapeles la imagen actual de la ventana gráfica. A continuación, el usuario la podrá transferirla a otras aplicaciones mediante operaciones de pegado.

Configurar Impresora Virtual Dimensionado

Una impresora virtual es un software que actúa como un *driver* de impresora que, físicamente, no existe pero que genera documentos en formato "*.pdf". Al seleccionar esta opción, desde GESTAR se abre la ventana de la FIGURA 6.5, a través de la cual el usuario elige de las impresoras virtuales disponibles en su ordenador, la que desea para la impresión de los informes de dimensionado.



FIGURA 6.5 Configurar impresora virtual

Cuando el usuario desde GESTAR genere estos documentos, empleando este *driver*, el software imprimirá el documento a un archivo configurado por el usuario.

Será necesario que el equipo cuente con una impresora virtual instalada, para lo que se adjunta junto al instalador de la aplicación GESTAR, el ejecutable del software gratuito $CutePDF^{TM}Writer$. Se requiere conexión a internet en el momento de su instalación.

<u>Salir</u>

Cierra el programa GESTAR, tras preguntar, en el caso que proceda, si se desean guardar los cambios de la red actual.

6.2 MENÚ EDICIÓN

El menú de *Edición* permite, cortar, copiar y pegar algunos tipos de *Nodos* y *Elementos*, además de deshacer o volver a rehacer algunas de las acciones que realicemos en GESTAR.

Deshacer.../Imposible Deshacer

Esta opción equivale a la ya descrita en la página 60, para el icono 🖾.

Rehacer.../Imposible Rehacer

Esta opción equivale a la ya descrita en la página 60, para el icono

Cortar (CTRL + X)

Esta opción equivale a la ya descrita en la página 59.

Copiar (CTRL + C)

Esta opción equivale a la ya descrita en la página 59.

Pegar (CTRL + V)

Esta opción equivale a la ya descrita en la página 59.

6.3 MENÚ VER

El menú *Ver* permite realizar operaciones que afectan exclusivamente a la visualización de objetos en la ventana *Mapa* así como la cualificación de alguno de sus atributos.

Buscar (CTRL + F)

Esta opción equivale a la ya descrita en la pág. 60, para el icono 🐴

Escala...

Esta opción ha sido descrita en pag. 55

amaño	máximo del mapa	Forzar	
∐(m)	1000		
⊻(m)	1000		
Origen -			

FIGURA 6.6 Escala.



FIGURA 6.7 Desplazamiento del Origen de Coordenadas.

<u>Zoom</u>

Acerca (*In*) o aleja (*Out*) la imagen en etapas que suponen un decremento o incremento del 50% del área visualizada. Cuando se ha activado la opción *Zoom In*, es posible el desplazamiento por el mapa utilizando el "scroll" de la ventana gráfica. En la reducción/ampliación del área visualizada, se mantiene como punto fijo el centro de la imagen anterior.

Visualización

Seleccionando la opción *Visualización* se despliega la ventana de propósitos múltiples *Preferencias*, mostrada en la FIGURA 6.8, que posee con un total de seis pestañas, y que siendo llamada desde diversos Menús establece los valores por defecto opciones generales del programa.

La pestaña Visualización atañe exclusivamente a las opciones de representación.



FIGURA 6.8 Preferencias/ Visualización.

Se puede cambiar el color de fondo y la codificación mediante colores de las líneas que representan los diversos tipos de *Elementos* cuando no se muestran resultados, a través de la ventana de la que aparece al pulsar sobre el texto de los componentes (*Tuberías, Válvulas, Bombas, Elementos Libres, Selección, Línea de Emisores y Fondo*). Además, se puede cambiar el tipo y tamaño de las fuentes de los textos asociados tanto de *Nodos*, botón *Fuente Nodos*, como de *Elementos*, botón *Fuente els.* (FIGURA 6.10). El grosor de líneas y *Nodos*, puede elegirse entre tres opciones preestablecidas. Finalmente, puede optarse por la visualización o no de flechas que indican el sentido del flujo en las *Tuberías* en función de los resultados del cálculo de la red. (casilla *Flechas de sentido*).

Estas opciones que nosotros cambiamos, se pueden dejar como predeterminadas para otras veces o podemos volver a los parámetros definidos inicialmente por GESTAR (recuadro *Configuración*).

olor		×
Colores básicos:		
Colores personalizados:		
	Matiz: 160	Rojo: 0
	Sat.: 0	Verde: 0
Definir colores personalizados >>	Color Sólido Lum.: 0	Azul: 0



uenite.	Estilo de fuente:	Tamaño:	
	Normal	8	Aceptar
0 @Arial Unicode MS 0 @Batang 0 @BatangChe 0 @DFKai-SB 0 @Dotum 0 @DotumChe 0 @FangSong	Normal Cursiva Negrita Negrita cursiva	8 • • 9 10 = 11 12 14 16 •	Cancelar
Efectos Tachado Subrayado Color: Azul	Ejemplo Alfabeto:		

FIGURA 6.10 Fuente de texto de elementos.

<u>Etiquetas</u>

Esta opción nos permite abrir la ventana *Preferencias* descrita antes, en la pestaña *Etiquetas*. Desde aquí podemos cambiar los prefijos que GESTAR pone por defecto al crear un *Nodo* o *Elemento* en el campo *Identificativo* de su ventana de definición (FIGURA 6.11).

Nodos 📔 El	ementos	Parámetros	Características	
Etiquetas	Visi	ualización	Magnitudes	 _ Configuración
Prefijos de etiqueta	as de nodos y	elementos		
<u>N</u> odos de unión	NU	D <u>o</u> ble condici	ón DC	Definir estos
<u>E</u> mbalses	ЕМВ	<u>S</u> in condición	SC	predeterminados
<u>B</u> alsas	BAL	E <u>m</u> isores	EMS	
<u>H</u> idrantes	HID	Conducciones		Valores que
<u>P</u> resión regulada	PRG		1	ofrecía Gestar.
<u>C</u> onsumo conocido		⊻álvulas	VALV	
Consumo en ruta	GOT	B <u>o</u> mbas	ВОМ	
		Concel	. [] []

FIGURA 6.11 Ventana Preferencias/ Etiquetas.

Ver Flechas de Sentido

Al activar esta opción, en la salida gráfica de los resultados de cualquier simulación, se mostrará en cada *Elemento* de la red calculada una flecha que indica el sentido de circulación del fluido.

Mostrar Nodos (F5)

Muestra u oculta los iconos de *Consumo Conocido*, *Unión*, *Hidrantes Reguladores* y *Emisores* en la ventana *Mapa*. El resto de tipos de *Nodos*, que suelen coincidir con puntos de alimentación de la red, se muestran permanentemente.

Mostrar Elementos (F6)

Muestra u oculta los iconos asociados a los *Elementos* en la ventana *Mapa*. Incluso cuando los iconos no se muestran la codificación mediante colores de los diversos tipos de *Elementos* permite la identificación de éstos mientras no se muestran resultados.

Ver valores en nodos (F7)

Esta opción equivale a la ya descrita en la pág. 76, para el icono 🕅

Ver Valores en Elementos (F8)

Esta opción equivale a la ya descrita en la pág. 76, para el icono 🐑

Ver Iconos Emisoress

Al activar esta opción, se insertará sobre cada *Elemento Línea de Emisores* el icono , lo que permitirá una localización visual más rápida de estos *Elementos* en la pantalla gráfica.

Señalar Números Nodos y Elementos (F9)

Cuando esta opción se encuentra activada, cada vez que el ratón se sitúa unos instantes sobre un *Nodo* o *Elemento* aparecerá una ventana donde se especifica el tipo de *Nodo* o *Elemento* y su identificativo. Tal característica puede utilizarse para asegurar la correcta selección de un *Nodo* o *Elemento* o para confirmar el identificador de los mismos cuando se visualiza otra variable numérica.

<u>Leyenda</u>

Permite disponer sobre pantalla de la leyenda del código de colores correspondiente a la salida gráfica de resultados, tanto para *Nodos* como para *Elementos*. La información completa referente a la salida de resultados se encuentra recogida en la pág. 211.

6.4 MENÚ OPCIONES

Preferencias

Eligiendo la opción *Preferencias* del menú *Opciones* se accede a la ventana mostrada en la FIGURA 6.8 (pág. 140) con un total de seis pestañas, pulsando sobre cada una de estas pestañas se despliega una sub-ventana diferente. Esta multi-ventana permite definir los valores por defecto de los parámetros que obligatoriamente hay que especificar en los componentes de la red, los parámetros de control de convergencia y precisión del módulo de cálculo, y, finalmente, las opciones de cálculo y visualización. Cada una de estas sub-ventanas son llamadas por nuevas órdenes más específicas de la barra de *Menús*, por lo que su contenido es descrito en las llamadas específicas de las sub-ventanas.

Etiquetas	Visualización Magnitud	les
Nodos Elementos	Parámetros Caracteri	ísticas Configuración
Cota 0 me Dotación 0.01 má Alt. presión 0 ma	Balsas etros I Splines 3 / s Niv.Má <u>x</u> Ni <u>v.Min</u> Niv. <u>Inic</u> a Niv.Má <u>x</u> Ni <u>v.Min</u> Niv. <u>Inic</u>	Definir estos parametros como predeterminados
Apertura Superf. regada (ha) 1 Caud. fict. cont. (I/sha) 1 Rendimiento 1	Image: Presión consigna (mca) Regulación hidrantes Presión consigna (mca) Rs Hidrante (s2/m5) Information Parcela: Ks	Becuperar los valores que originalmente ofrecía Gestar.
Acentar	Cancelar	Anlicar

FIGURA 6.12 Preferencias/ Nodos.

Se listan las sub-ventanas de *Preferencias* junto a la página en que se documenta su contenido:

- Nodos. Establece los valores por defecto de todos los parámetros relativos a los Nodos. Se llama específicamente desde *el Menú: Opciones/ Valores por Defecto/* Nodos.
- Elementos. Establece los valores por defecto de todos los parámetros relativos a los Elementos. Se llama específicamente desde el Menú: Opciones/ Valores por Defecto/ Elementos, pág.146,FIGURA 6.13.
- ◆ **Parámetros.** Establece los parámetros relativos al control de la convergencia, estabilidad y precisión del motor de cálculo de las redes *NETCAL*. Se llama específicamente desde el *Menú: Cálculos/ Parámetros*, pág.158, FIGURA 6.19.
- ♦ Características. Determina las propiedades del fluido que circula por la red, así como el tipo de formulación para el cálculo de pérdidas. Se llama específicamente desde el *Menú: Cálculos/ Características*, pág.164, FIGURA 6.20.
- Etiquetas. Muestra los prefijos por defecto de etiquetas de *Nodos* y *Elementos*. Se llama específicamente desde el *Menú: Ver/ Etiquetas, pág.142,* FIGURA 6.11.
- Visualización. Establece las opciones por las que los componentes de la ventana gráfica se muestran al usuario. Se llama específicamente desde el Menú: Ver/ Visualización, ver pág. 140, FIGURA 6.8.
♦ Magnitudes. Define los valores del origen de coordenadas y coordenadas máximas exactas para la ventana de representación gráfica, así como el área visible. Se llama específicamente desde el *Menú: Ver/ Escala*, pág. 55, FIGURA 5.3.

Desde el cuadrante *Configuración*, todas las opciones que sean modificadas en cualquiera de las pestañas, pueden almacenarse como predeterminadas. Del mismo modo, se pueden recuperar en cualquier momento los parámetros que inicialmente ofrecía GESTAR. Además, se tiene la posibilidad de visualizar el resultado del cambio (botón *Aplicar*), previamente a su aceptación.

Valores por Defecto

La opción *Valores por defecto* del menú *Opciones* facilita la creación de componentes de la red mediante la asignación de una serie de valores característicos que aparecerán por defecto a la hora de **crear un nuevo nodo o un elemento**. GESTAR suministra valores por defecto que el usuario puede modificar en estas ventanas para la creación de componentes. Además tenemos la opción de conservar estos valores definidos por el usuario para posteriores definiciones, y la opción de volver a los valores predefinidos por GESTAR (recuadro *Configuración* de la ventana *Preferencias*).

ATENCIÓN: Cuando se cambia un *Nodo* de un tipo a otro, los valores que aparecen en las casillas de las nuevas variables a definir no corresponden a los valores por defecto establecidos en esta sección si no a los valores existentes en la casilla correspondiente del último *Nodo* abierto o creado en cuya definición interviene la variable.

Si se selecciona *Valores por defecto/ Nodos* el cuadro de diálogo que presenta el programa viene recogido por la FIGURA 6.12, permitiendo establecer por defecto la cota de los *Nodos*, la altura de presión y la dotación en los *Nodos* de nueva creación que requieran de dichas variables.

Se pueden introducir los valores que se deseen adjudicar por defecto en los *Hidrantes Reguladores: Presión de Consigna*, valor de los coeficientes *Ks* tanto para el hidrante como para la parcela y el valor del coeficiente N (ver Capítulo 4 en los apartados *Nodo de Consumo Conocido*, pág. 87, e *Hidrante Regulador*, pág. 91), además de los valores que relacionan la *Probabilidad* de apertura y la *Dotación (Área Regada, Caudal Ficticio Continuo y Rendimiento)*.

Para los *Nodos* tipo *Balsa* aparece activa por defecto la casilla *Splines*, que permite mediante un ajuste analítico continuo la cubicación de los sistemas de almacenamiento (balsas, depósitos, embalses,...) susceptibles de variar el nivel por efecto de el entrada y salida de agua. Si se desactiva esta opción, la balsa se asimila a un depósito troncocónico, quedando accesibles las casillas correspondientes para fijar valores por defecto de la *Pendiente* y *Sección*. Para ambos supuestos se podrán especificar desde aquí los valores por defecto de los niveles *inicial, máximo y minino* de la balsa.

No pueden existir en una misma red simultáneamente los dos tipos de modelos de balsa. Independientemente de la opción seleccionada desde la pestaña de la FIGURA

6.12, GESTAR detecta automáticamente el tipo de *Balsa* contenida en el fichero "*.red" y la aplicación se abre con la opción correspondiente.

La selección de Valores por defecto / Elementos muestra la ventana de diálogo de la FIGURA 6.13, permitiendo definir el diámetro y la Rugosidad que aparecerán por defecto cuando se cree un Elemento. También se elige, en la casilla Abrir al Crear, si se desea o no que cada vez que se cree una nueva Tubería se abra automáticamente la ventana donde se especifican sus datos. Además, en esta ventana de diálogo se deben introducir los valores por defecto tanto para Bombas y Válvulas Reguladoras como para Emisores y Líneas de Emisores.

Con respecto a los *Elementos Bomba*, en el caso de que la casilla *Splines* esté activada (opción seleccionada por defecto), se recurrirá el modelado de las curvas características de las bombas mediante su interpolación por splines cúbicos. Lo que permite este método es obtener una **curva suave** que pase por una serie de puntos conocidos, los cuales definen el comportamiento de las bombas.

Etiquetas	Vis	ualización	Magnitudes	
Nodos	Elementos	Parámetros	Características] _ Configuración
Conduccione Djámetro Rugosida V 4 V 5 Bombas Diámetro br A= 10000 C= 1 B= 0	rs (m) 0,063 d 0,00005 Defini al crear Señalar 1ª serie ida 0,063 m 00	Válvulas Presión cons Caudaļ límite Goteros Diametro Rugosidad Dist. entre en	sig 38 mca 2 m3/s 0,014 m 1 m	Definir estos parametros como predeterminados <u>Recuperar los</u> valores que originalmente ofrecía Gestar.
Emisores <u>C</u> ota 0	m Diámetro	0,063 m F	Rugosjdad 0,00005	

FIGURA 6.13 Preferencias/ Elementos.

Al desactivar la casilla *Splines*, se llevará a cabo la formulación de versiones anteriores, con un ajuste parabólico único en todo el rango de caudales. Como ya se ha descrito para el icono 😟, pág. 116, no podrán existir en una misma red simultáneamente los dos tipos de modelos de bomba.

En ambos casos, se podrán modificar los valores por defecto de los siguientes parámetros:

- **Diámetro de Aspiración:** es el diámetro de la brida de aspiración, y puede corresponder al del *Elemento* pasivo anterior. Se utiliza para el cálculo de la velocidad en la brida de aspiración, necesaria para determinar el *NPSHA*.
- A, B y C: son los coeficientes del polinomio de segundo grado que se ajusta (para un ajuste parabólico único) a la curva característica de la bomba que representa el comportamiento del *Elemento* $H_{R}(Q)$ de la forma:

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

Cuando el ajuste se realice mediante *Splines*, los valores A, B y C serán empleados para determinar tres pares de valores altura-caudal, siendo loscaudales nulo, máximo y medio, correspondientes a dicha ecuación, a partir de los cuales se realizará la interpolación mediante splines. Los valores por defecto que implementa GESTAR en origen son de utilidad en la fase de dimensionado óptimo, en aquellas situaciones en las que el la altura de impulsión sea desconocida a calcular dentro de la optimización (ver pág. 240). Mediante el botón *Ajustar*, se podrán calcular por el método de los mínimos cuadrados los tres parámetros A, B y C, a partir de al menos tres pares de puntos de caudal y altura.

Para las Válvulas Reguladoras se podrá fijar los valores por defecto de consigna, esto es, la Presión de Consigna y el Caudal Límite de Consigna. Para los Emisores, la Cota del punto de emisión, el Diámetro y la Rugosidad de conducto de alimentación del Emisor y para las Líneas de Emisoress el Diámetro y la Rugosidad del Elemento y la Distancia que hay entre los emisores.

Demanda Aleatoria...

Permite establecer de forma aleatoria escenarios globales de apertura y cierre de los hidrantes que no estén desactivados. Esta opción equivale a la ya descrita en el *Capítulo 4* pág. 66, para el icono \square .

Modular Consumos...

La opción *Modular Consumos...* permite multiplicar los valores de la variable *Dotación* y *Demanda* en todos los *Nodo*s de la red de tipo *Consumo Conocido* e *Hidrante Regulador* por el factor especificado dentro del cuadro de diálogo (FIGURA 6.14) que aparece al seleccionar esta función.

400000000	1/2
Factor	1
Aceptar	Cancelar

FIGURA 6.14 Modular Consumos.

Abrir/Cerrar Hidrantes...

La opción Abrir/ Cerrar hidrantes (FIGURA 6.15) establece el estado de los Nodos susceptibles de modelar hidrantes (Nodos de Consumo Conocido y Nodos Hidrantes Reguladores) en abierto o cerrado según la instrucción elegida y ejecutada mediante la opción Abrir (ó Cerrar) que **actúa sobre el nodo cuyo identificador es dado en la casilla** Hidrante ID, Además, existe la posibilidad de avisar si el hidrante introducido no existe.

Hidrante <u>I</u> D.		C <u>C</u> errar
Avisar si no existe	Aceptar	Cancelar

FIGURA 6.15 Abrir Cerrar Hidrantes.

Los estados de cierre o apertura dados con esta opción están sujetos a las restricciones fijadas por el botón P descrito en la pág. 81. Por tanto, la instrucción dada por esta ventana no se hará efectiva si contradice el estado configurado por *Apertura/ Cierre Incondicional*. Los hidrantes abiertos o cerrados mediante esta instrucción se encuentran en operaciones posteriores sujetos a la misma operativa que cualquier otro hidrante (pueden ser sorteados mediante el icono P).

Editar Comentarios...

La opción *Editar comentarios*... (FIGURA 6.16) permite modificar los comentarios que se hayan introducido en la ventana gráfica de la red actual mediante el botón \mathbf{A} (pág. 79) de la barra de herramientas, para después modificarlos, cambiarlos de ubicación, hacerlos visibles o no visibles o eliminarlos.

resion de co	onsigna 25 m.	
= 296920,3 = 4521638	⊽ ⊻isible	<u>F</u> uentes
odo Daisa esion de consign	a 25 m.	2003 ¹
Annahan	E limite as	Cancelar

FIGURA 6.16 Editar Comentarios.

En esta ventana *Comentarios* aparecen, en el recuadro inferior, todos los textos introducidos con el botón *Comentarios*. Para editar uno de ellos, basta con seleccionarlo haciendo "clic" sobre él. Al hacerlo, pasará al recuadro superior, desde donde se puede modificar su contenido (reescribiendo el texto), la posición de su origen (modificando las casillas $X \ e \ Y$) y la fuente utilizada (botón *Fuentes*). La casilla *Visible* permite decidir si un comentario aparece o se oculta en la ventana gráfica. El botón *Eliminar* borra el texto que se haya seleccionado en la parte superior de la ventana *Comentarios*.

Informe de Red

Consulta Topográfica	◄	 Coordenada X Mínima: 296.620,3 m (Nodo TL > Coordenada X Máxima: 306.161.4 m (Nodo 1)
C Nodos de Consumo Conocido	◄	Incremento en X: 9541,125 m
C Hidrantes Reguladores		- Coordenada Y Mínima: 4.515.047.0 m (Nodo
C Conducciones	◄	Loordenada Y Maxima: 4.521.716,0 m (Nodo Incremento en Y: 6669 m
Ratios de la red	◄	- Cota Mínima: ,0 m (Nodo TU2) Cota Máxima: 115.0 m (Nodo 0)
Guardar in <u>f</u> orme completo S	alir	Incremento en Z: 115 m
C Texto (Separador - TABULAD)	JR)	
C Texto (Separador - COMAS)		
G Formato WORD		

FIGURA 6.17 Informe de la Red.

Mediante esta opción, se genera un informe sintético con los datos más relevantes de la red. Aparece el cuadro de diálogo de la FIGURA 6.17, donde figuran los cinco epígrafes en los que se agrupa la información que puede obtener el usuario. Al

activar la casilla de la izquierda de uno de ellos, se visualizará en la pantalla de la ventana habilitada para tal fin, la información referente a ese epígrafe. Se detalla a continuación el contenido que encontrará el usuario para cada caso:

- **Consulta Topográfica.** Los valores máximos y mínimos de las coordenadas X e Y de situación de los *Nodos*, el *Identificativo* de los *Nodos* a los pertenecen, y la diferencia entre ambos valores para cada una de las direcciones. Del mismo modo, se indica la cota máxima y mínima, a qué *Nodos* corresponden y la diferencia entre ambas.
- Nodos de Consumo Conocido. Número total de Nodos, valores máximo y mínimo (con el indicativo del Nodo al que corresponden) suma y promedio de los parámetros de demanda, superficie regada, caudal ficticio continuo y presión de consigna. Si la red estuviera calculada, máximos y mínimos (con identificativo del Nodo) de presión y altura piezométrica.
- ♦ Hidrantes Reguladores. Número total de hidrantes, valores máximo y mínimo (con el indicativo del *Nodo* al que corresponden) suma y promedio de los parámetros de demanda, superficie regada, caudal ficticio continuo, rendimiento y presión de consigna. Si la red estuviera calculada, máximos y mínimos (con identificativo del *Nodo*) de rendimiento, presión, altura piezométrica y consumo.
- Tuberías. Valores máximo, mínimo (con *Identificativo* del *Elemento*) y promedio de longitud y pendiente. En el caso de que la red esté calculada: valores máximo y mínimo (e *Identificativo* del *Elemento* al que se asocian) de caudal, pérdida de carga y velocidad.
- **Ratios de la Red.** Longitud Total de *Tuberías*, dotación por hectárea, metros de *Tuberías* por hectárea, caudal acumulado en cabecera, caudal de diseño en cabecera, simultaneidad (*Q diseño/Q acumulado*).

Los epígrafes seleccionados a través de las casillas a las derecha de la red se recogerán en un informe que se generará al pulsar el botón *Guardar Informe Completo*. Al pulsar este botón, el usuario determinará el nombre y la ruta de almacenaje del documento. Se podrá modificar el formato del informe según las opciones definidas en la ventana de la FIGURA 6.17.

Coste Elementos Seleccionados (no disponible en v actual)

Se evalúa el coste de las *Tuberías* seleccionadas con la herramienta selección poligonal o rectangular de acuerdo a los costes de instalación registrados en la *Base de Datos de Tuberías*. Los *Material* diámetros y *Timbraje*s deben haber sido configurados desde la misma base de datos.

Permite valorar de forma rápida los costes de retoques, modificaciones manuales y alternativas.

6.5 MENÚ DIMENSIONAR

Caudales de Diseño

Desde esta opción, el usuario accede a la ventana de la FIGURA 6.18, a través de la cual desde GESTAR se asignarán los *Caudales de Diseño* que trasiegan por cada uno de los *elementos* que conforman la red **en redes a la demanda**, **de topología estrictamente ramificada.** Desde este cuadro de diálogo el usuario decidirá si desea establecer que estos caudales coincidan con los *Caudales Acumulados* o sean calculados según el método de *Clèment* (ver pág. 235) para lo cual deberá establecer uno o varios criterios de diseño, en función de si establece un porcentaje de *Garantía de Suministro Global* o bien prefiere hacerlo de forma *Selectiva*.

Opciones para asignar caudales de línea: Caudales Acumulados Caudales equivalentes de Clèment	diseño nulo para el tramo a	anterior a dicho nodo.
se Claudales equivalences de Clemenc	_ _ Intervalos Para Garantía d	le Suministro
Clèment Garantía de suministro:	Garantía de Suministro 95 %	Desde 20 hidr 95 Desde 4 hidr 99 \$
⊂ Global 🛛 95 🛛 % ☞ Selectiva	Número de hidrantes aguas abajo en el cual se comienza a aplicar la garantía:	
Etiqueta nodo inicial	50 hidrantes	
Calcular Salir	Agregar a la lista	Borrar lista

FIGURA 6.18 Caudales de Diseño

Se facilita información detallada sobre este procedimiento en el apartado 8.2 CAUDALES DE DISEÑO, pág. 235.

Optimización

GESTAR facilita el dimensionado de redes estrictamente ramificadas, es decir una red sin mallas con un único punto de alimentación (cuya altura piezométrica puede conocerse o no). Desde esta opción se accede al asistente para la optimización de diámetros de este tipo de redes, cuyo modo de uso se especifica en el apartado 8.3 COMPUTO DE GASTOS ENERGETICOS

Término de Energía.

En el proceso de dimensionado óptimo de sistemas alimentados por bombeo directo, el consumo de energía se computan de forma simplificada, suponiendo una *Curva de Consigna* plana (altura de impulsión constante, *Hd*, igual a la correspondiente a la presión de diseño para el caudal de diseño de la cabecera) y que el rendimiento conjunto de la estación de bombeo es un valor estimado asimismo constante (Rendimiento *Ponderado*), $\eta\delta$, obteniendo una versión simplificada de la Ecuación 3-1 que computa el *Consumo Energético Simplificado (CESkwh*).

$$CES_{kwh} = \int_{0}^{T} \frac{\rho \cdot g \cdot H(q) \cdot q}{\eta(q)} dt = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{d}}{\eta_{p}} \int_{0}^{T} q \cdot dt = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{d} \cdot V}{\eta_{p}}$$

V es el volumen a elevar durante la campaña, que junto al *Rendimiento Ponderado* de la estación de bombeo y el *Volumen* a bombear son los datos que el usuario ha de introducir, ya que *Hd* es objeto de cálculo de proceso de optimización.

El valor económico de esta energía se obtiene multiplicando los kWh necesarios por el precio del kWh. Puesto que el precio del kWh varía según el periodo horario de consumo, la expresión anterior se aplica sumando las contribuciones de los volúmenes bombeados en cada franja horaria (por ejemplo valle, llano punta, o en cada periodo P1, P2,....P6) con su precio del kWh correspondiente:

$$CES_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p} (V_v \cdot PkWh_v + V_{ll} \cdot PkWh_{ll} + V_p \cdot PkWh_p)$$

O lo que es lo mismo, multiplicando la estimación de la energía requerida en el periodo por el precio medio del kWh, ponderado según los volúmenes bombeados en cada periodo horario:

$$CES_{\in} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d}{1000\,3600\,\eta_p} (V_v \cdot PkWh + V_{ll} \cdot PkWh + V_p \cdot PkWh) = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot V}{1000\,3600\,\eta_p} \overline{PkWh}$$

En consecuencia, es equivalente suministrar a GESTAR los volúmenes bombeados en cada franja, y las tarifas aplicadas a cada una de ellas (en formas de recargos y descuentos correspondientes) que adjudicar a una franja arbitraria todo el volumen bombeado y considerar un precio del kWh base que corresponda al precio medio ponderado en volumen del kWh, calculado previamente por el usuario.

El precio medio del kWh ponderado en volumen se evaluará, en el caso de la discriminación en tres franjas horarias:

$$\overline{PkWh} = \frac{(V_v \cdot PkWh_v + V_{ll} \cdot PkWh_{ll} + V_p \cdot PkWh_p) \cdot}{V}$$

y en el caso general, en que la tarifa de consumo se estructure en NP tramos, con precio de cada tramo *PkWhi* y volumen bombeado *Vi* en el tramo respectivo:

$$\overline{PkWh} = \frac{\sum_{i=1}^{NP} V_i \cdot PkWh_i}{V}$$

La expresión concreta que aplica GESTAR en el modulo de dimensionado óptimo para el *computo* de los precios del kWh en *cada* periodo es:

$$PkWh_{i} = PkWh_{base} \cdot (1 + \frac{IkWh_{i}}{100})$$

con:

PkWh_{base} : Precio Base kWh

 $IkWh_i$: Recargo / Descuento del precio del kWh en el periodo en %

función de estos parámetros la estimación del gasto en energía, utilizando NP En

periodos en la tarifa de energía es:

$$CES_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p} \sum_{i=1}^{NP} V_i \cdot PkWh_{base} \cdot (l + \frac{IkWh_i}{100}) \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnual}$$

Siendo:

 V_i : El Volumen (m3) elevado anualmente por la estación en cada periodo i

 K_{reac} : Coeficiente de potencia reactiva en función del cos φ .

$$K_{reac} = 1 + \frac{17/\cos \varphi^2 - 21}{100}$$
 Si Kreac > 1,47; Kreac=1,47; Si Kreac< 0.96;

Kreac=0,96

$$\cos \varphi$$
 es 0,8997 (valor por defecto), K_{reac} , = 1
Si

 $K_{incAnual}$: Término de incremento anual del coste de la energía.

 $K_{incAnual} = \frac{(1 + Ian/100)^{T} - 1}{T Ian/100}$ Ian: Incremento anual del precio de la energía en

%

Término de Potencia.

El Coste del Término de Potencia corresponde al coste total anual estimado del contrato de potencia del bombeo.

Para estimar la potencia máxima necesaria se utiliza la Potencia Nominal Necesaria, PNN_{kW} , que se asocia a la potencia requerida para bombear el caudal de diseño, Q_d , de la conducción de cabecera a la altura de presión nominal de diseño, H_d , con un rendimiento ponderado η_a

$$PNN_{kW} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot Q_d}{1000 \cdot \eta_p}$$

Las tarifas eléctricas dividen habitualmente el día en diferentes periodos (P1,...P6), en los que el coste de cada kW de potencia contratada varía. Puesto que no necesariamente en todos los periodos en que se divide la tarifa de potencia es necesario contratar la potencia máxima necesaria, PNN_{kW} , el gasto se computa como suma del coste anual de

los kW contratados en cada periodo según la tarifa eléctrica utilizada.

Para consignar en GESTAR la variación del precio de la potencia contratada, se

introduce un *Precio Base de Potencia Contratada (* $^{PkW_{base}}$) que es el coste en \in por mes, del kW en un determinado periodo de referencia, y a continuación se indica el *Recargo del precio del* kW (y descuento, con signo negativo) en porcentaje respecto al *Precio Base de Potencia Contratada,* correspondiente a cada periodo, *IkW_i*

$$PkW_i = PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100})$$

con:

 PkW_{base} : Precio base del kW por mes en _{el} periodo de referencia

 $\overrightarrow{lkW_{i}}$ Recargo/Descuento % respecto del precio base del kW/mes en el periodo i

En _{función} los conceptos enunciados GESTAR estima _{el} coste anual de la potencia contratada, *CPC;* mediante la expresión:

$$CPC_{\text{E}} = \left(\frac{\rho \cdot g \cdot Q_d \cdot H_d}{1000 \cdot \eta_p}\right) \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_i}{100} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100}) \cdot 12 \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnual}$$

Siendo:

 R_i : Los Coeficientes de Reparto de la Potencia Contratada para el periodo *i* (%)

 $\overline{K_{reac}}$. Término de potencia reactiva en función del cos φ

 $K_{incAnual}$: Término de incremento anual del coste de la energía

Alternativamente, puede prescindirse de la discriminación de periodos utilizando un precio constante del kW por periodo, obtenido como media ponderada con la potencia contratada:

$$\overline{PkW}_{1/NP} = \frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_i}{100} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100})$$

ASISTENTE OPTIMIZACIÓN DE LA RED, pág. 240.

6.6 MENÚ CÁLCULOS

El *Menú Cálculos* contiene las opciones para ejecutar la simulación configurada previamente y controlar la convergencia de la resolución numérica. En él se accede también a ventanas que controlan las características del fluido que circula por la red en régimen incompresible y la formulación de pérdidas de carga en conductos que se desea emplear, que debe estar en consonancia con el tipo de *Rugosidad* introducida en los *Elementos*.

Calcular (CTRL + E)

Esta opción se describe en la descripción del botón *Calcular* de la barra de herramientas, pág. 71.

Recalcular (CTRL + R)

Una vez calculado un escenario simple mediante el botón \square , si se selecciona en el menú *Cálculos* la opción *Recalcular*, al realizar un nuevo cálculo de escenario el proceso iterativo de solución del sistema (2.6) se inicializa con los resultados del cálculo anterior. Por otra parte, si se realiza el cómputo de una *Evolución Temporal* con la opción *Recalcular* seleccionada, en cada paso temporal a partir del primero se inicializará el cálculo de la solución del nuevo paso temporal con los resultados del intervalo anterior. Lo mismo ocurre con el cálculo de escenarios consecutivos en la opción *Escenarios Múltiples*.

El empleo de esta opción permite la reducción del número de iteraciones necesarias para alcanzar la convergencia a la solución de cada escenario, puesto que si los valores de partida se encuentran próximos a la solución del escenario actual, la convergencia del algoritmo *Newton -Raphson* es muy superior. No obstante, hay que advertir que, para que esta supuesta ventaja se haga patente, el nuevo escenario calculado en base a un escenario anterior debe ser relativamente semejante al que utiliza como valor de partida. Es decir, el nuevo escenario no debe contener cambios radicales, pues de lo contrario la solución previa puede estar tan alejada del escenario actual como una solución arbitraria.

En consecuencia, la opción *Recalcular* tiene una serie de restricciones para su aplicación, de tal manera que si estas no se cumplen, los resultados previos se ignorarán, procediéndose a inicializar el proceso como si estuviera activa la opción *Calcular*.

Así, por ejemplo, dos escenarios se encontrarán relativamente próximos si se realizan cambios en la red que no afecten a su topología como abrir o cerrar hidrantes, cambia cotas, alterar la longitud de *Elementos*, etc. Si se introducen o eliminan *Nodos* o *Elementos*, las variables correspondientes a los nuevos componentes no se encontrarán definidos en absoluto, con lo cual la opción *Recalcular* ya no estará operativa hasta que se vuelva a calcular la red.

Las únicas operaciones válidas, tanto para *Nodo*s como para *Elementos*, que aceptan la opción de *Recalcular* son:

♦ Nodos:

- Cambiar las coordenadas *X* e *Y*.
- Cambiar la *Cota*.
- Cambiar la *Dotación*.
- Cambiar la Demanda instantánea.
- Cambiar la *Altura de Presión*.
- Elementos:
 - Cambiar la *Longitud*.
 - Cambiar el Diámetro.
 - Cambiar el Parámetro de Rugosidad.

Entre las operaciones que, además del cambio de topología, no serán válidas (en prevención de comportamientos distintos de la red antes y después de los cambios) se encuentran:

- ♦ Nodos:
- Cambiar el tipo de *Nodo*.
- Elementos:
 - Añadir o eliminar Válvulas de Seccionamiento.
 - Modificar, añadir o eliminar Válvulas de Retención, Válvulas de Estrangulamiento, Accesorios y Pérdidas Singulares.

Cualquier cambio en Válvulas Reguladoras, Bombas de impulsión y Elementos Libres.

Como se observará, en las *Evoluciones Temporales*, los cambios entre un instante y otro son esencialmente debidos a cambios en la apertura de hidrantes, por lo que la opción *Recalcular* será siempre adecuada.

Automático (CTRL + A)

Si en el menú *Cálculos* está seleccionada la opción *Automático*, cada vez que se introduzcan cambios sobre el Mapa del escenario de una red ya calculada (cambios que no afecten a su topología y que se encuentren sujetos a mismas restricciones de la opción *Recálculo*) se ejecutará un *Recálculo* del escenario en cuanto se acepta la modificación en la ventana correspondiente, sin necesidad de activar el comando *Calcular* (icono).

Asimismo en la opción Cálculos/ Automático se procederá a un refresco automático de la simulación cada vez que

- Se abra o cierre un hidrante con la herramienta Abrir/Cerrar Hidrantes 🚵.
- Se genere un escenario Aleatorio con el botón *Ejecutar* de la ventana *Escenario Aleatorio*.

Esta opción del *Menú Cálculos* confiere un alto grado de interactividad entre el programa y el usuario que va encontrando resultados refrescados tan pronto como formula los cambios.

Parámetros...

Permite modificar una serie de parámetros que controlan la inicialización del proceso iterativo de resolución del sistema (2.6), la convergencia y la precisión de los resultados. El cuadro de diálogo al seleccionar esta opción es el que se recoge en la FIGURA 6.19.

Etiquetas	Visua	ización	Magnitudes	
Nodos	Elementos	Parámetros	Características) u – Configuración – – – – –
<u>M</u> áximo númer <u>T</u> olerancia adii	o de iteraciones mensional del residuo	99	Error dinámico En alturas	
⊻alor de inicial	ización	1	0,001	Definir estos parametros como
<u>C</u> oeficiente de C <u>o</u> eficiente de Opciones Dim Pendiente bifu Impresora virtu	relajación condicionado ensionado: rrcaciones: 0,0015 Ial *pdf: Ninguna	0,5 0,001 Pendiente Configur	Crear fichero de iteraciones 1ª senda: 0,0015 ar	Eecuperar los valores que originalmente ofrecía Gestar.
Tipo inicializar Velocidad (e: correspondie	ción (cepto bombas) 💌 nte al punto medio de	En los tipos 2 y 3 caudal inicial para su curva de func	se considerará como a las bombas el sionamiento.	

FIGURA 6.19 Preferencias/ Parámetros.

Este bloque de parámetros viene configurado por defecto y para su modificación, en caso de ser necesario, es recomendable poseer una cierta experiencia en el manejo del programa y en el cálculo de redes con objeto de modificarlo con seguridad y hacer un uso eficiente del mismo. Los parámetros precisos son los siguientes:

• Máximo número de iteraciones. Aconsejable: 20. En Análisis Inverso: 50.

- Tipo de error dinámico (en caudales o en alturas). Aconsejable en alturas.
- Error dinámico. Aconsejable 0.01 m
- ◆ Tolerancia adimensional del residuo. Aconsejable: 0.0001 (en Análisis Inverso 0.001)
- Tipo de inicialización. Aconsejable en velocidad, con punto medio de bombas.
- Valor de inicialización. 1 *m/s*
- Coeficiente de relajación. Aconsejable 0.5
- Coeficiente de condicionado (KCL). Aconsejable igual o inferior a 0.1

En el *Anexo VI* (pág. 375) se ofrece una descripción más detallada de cada uno de estos parámetros. Se recomienda una lectura atenta de los mismos una vez realizado un primer contacto con el programa.

ATENCIÓN: De entre los valores anteriores, es el *Coeficiente de Condicionado KCL* el que resulta de mayor importancia para garantizar el buen funcionamiento de GESTAR. Sus valores se sitúan en el rango (0,1). Conforme *KCL* crece el número de ecuaciones que se resuelve es menor, y en consecuencia, el tiempo de cálculo de cada iteración se reduce, pero el número de iteraciones puede incrementarse debido a una mayor inestabilidad del proceso iterativo. Al contrario, si *KCL* se reduce, el número de ecuaciones que se resuelven aumenta, así como el tiempo de cada iteración, pero el sistema es más estable y converge en menos iteraciones.

Un valor recomendado en la mayor parte de las ocasiones para *KCL* es 0,1. Siempre que se supere el número de iteraciones máximo establecido para la convergencia (habitualmente inferior a 20) se recomienda reducir *KCL* en un orden de magnitud adicional. En caso necesario puede reducirse *KCL* hasta un valor nulo con objeto de garantizar al máximo la convergencia.

También en esta ventana existe la posibilidad de crear fichero de iteraciones donde se vuelcan los resultados intermedios del proceso de cálculo. Tal información sólo es de utilidad para los programadores de GESTAR en las fases de depuración y ajuste del motor de cálculo *NETCAL*, por lo que no presenta interés para el usuario habitual.

OPCIONES DIMENSIONADO.

El usuario puede variar desde este cuadrante tanto el valor por defecto de la *pendiente en bifurcaciones* como de la *pendiente de la 1^a senda*. Podrán ser modificados desde el asistente de optimización de diámetros, en el PASO 3: DATOS DE CABECERA. Se aconseja ver el apartado 8.3 COMPUTO DE GASTOS ENERGETICOS

Término de Energía.

En el proceso de dimensionado óptimo de sistemas alimentados por bombeo directo, el consumo de energía se computan de forma simplificada, suponiendo una *Curva de Consigna* plana (altura de impulsión constante, *Hd*, igual a la correspondiente a la presión de diseño para el caudal de diseño de la cabecera) y que el rendimiento conjunto de la estación de bombeo es un valor estimado asimismo constante (Rendimiento *Ponderado*), $\eta\delta$, obteniendo una versión simplificada de la Ecuación 3-1 que computa el *Consumo Energético Simplificado (CESkwh*).

$$CES_{kwh} = \int_{0}^{T} \frac{\rho \cdot g \cdot H(q) \cdot q}{\eta(q)} dt = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{d}}{\eta_{p}} \int_{0}^{T} q \cdot dt = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{d} \cdot V}{\eta_{p}}$$

V es el volumen a elevar durante la campaña, que junto al *Rendimiento Ponderado* de la estación de bombeo y el *Volumen* a bombear son los datos que el usuario ha de introducir, ya que *Hd* es objeto de cálculo de proceso de optimización.

El valor económico de esta energía se obtiene multiplicando los kWh necesarios por el precio del kWh. Puesto que el precio del kWh varía según el periodo horario de consumo, la expresión anterior se aplica sumando las contribuciones de los volúmenes bombeados en cada franja horaria (por ejemplo valle , llano punta, o en cada periodo P1, P2,....P6) con su precio del kWh correspondiente:

$$CES_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p} (V_{\nu} \cdot PkWh_{\nu} + V_{ll} \cdot PkWh_{ll} + V_p \cdot PkWh_p)$$

O lo que es lo mismo, multiplicando la estimación de la energía requerida en el periodo por el precio medio del kWh, ponderado según los volúmenes bombeados en cada periodo horario:

$$CES_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d}{1000\,3600\,\eta_p} (V_v \cdot PkWh + V_{ll} \cdot PkWh + V_p \cdot PkWh) = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot V}{1000\,3600\,\eta_p} \overline{PkWh}$$

En consecuencia, es equivalente suministrar a GESTAR los volúmenes bombeados en cada franja, y las tarifas aplicadas a cada una de ellas (en formas de recargos y descuentos correspondientes) que adjudicar a una franja arbitraria todo el volumen bombeado y considerar un precio del kWh base que corresponda al precio medio ponderado en volumen del kWh, calculado previamente por el usuario.

El precio medio del kWh ponderado en volumen se evaluará, en el caso de la discriminación en tres franjas horarias:

$$\overline{PkWh} = \frac{(V_v \cdot PkWh_v + V_{ll} \cdot PkWh_{ll} + V_p \cdot PkWh_p) \cdot}{V}$$

y en el caso general, en que la tarifa de consumo se estructure en NP tramos, con precio de cada tramo *PkWhi* y volumen bombeado *Vi* en el tramo respectivo:

$$\overline{PkWh} = \frac{\sum_{i=1}^{NP} V_i \cdot PkWh_i}{V}$$

La expresión concreta que aplica GESTAR en el modulo de dimensionado óptimo para el *computo* de los precios del kWh en *cada* periodo es:

$$PkWh_{i} = PkWh_{base} \cdot (1 + \frac{IkWh_{i}}{100})$$

con:

PkWh_{base} : Precio Base kWh

 $IkWh_i$: Recargo / Descuento del precio del kWh en el periodo en %

función de estos parámetros la estimación del gasto en energía, utilizando NP En

periodos en la tarifa de energía es:

$$CES_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p} \sum_{i=1}^{NP} V_i \cdot PkWh_{base} \cdot (l + \frac{IkWh_i}{100}) \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnual}$$

Siendo:

 V_i : El Volumen (m3) elevado anualmente por la estación en cada periodo i

 K_{reac} : Coeficiente de potencia reactiva en función del cos φ .

$$K_{reac} = 1 + \frac{17/\cos \varphi^2 - 21}{100}$$
 Si Kreac > 1,47; Kreac=1,47; Si Kreac< 0.96;

Kreac=0,96

$$\cos \varphi$$
 es 0,8997 (valor por defecto), K_{reac} , = 1
Si

 $K_{incAnual}$: Término de incremento anual del coste de la energía.

 $K_{incAnual} = \frac{(1 + Ian/100)^{T} - 1}{T Ian/100}$ Ian: Incremento anual del precio de la energía en

%

Término de Potencia.

El Coste del Término de Potencia corresponde al coste total anual estimado del contrato de potencia del bombeo.

Para estimar la potencia máxima necesaria se utiliza la Potencia Nominal Necesaria, PNN_{kW} , que se asocia a la potencia requerida para bombear el caudal de diseño, Q_d , de la conducción de cabecera a la altura de presión nominal de diseño, H_d , con un rendimiento ponderado η_a

$$PNN_{kW} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot Q_d}{1000 \cdot \eta_p}$$

Las tarifas eléctricas dividen habitualmente el día en diferentes periodos (P1,...P6), en los que el coste de cada kW de potencia contratada varía. Puesto que no necesariamente en todos los periodos en que se divide la tarifa de potencia es necesario contratar la potencia máxima necesaria, PNN_{kW} , el gasto se computa como suma del coste anual de

los kW contratados en cada periodo según la tarifa eléctrica utilizada.

Para consignar en GESTAR la variación del precio de la potencia contratada, se

introduce un *Precio Base de Potencia Contratada (* $^{PkW_{base}}$) que es el coste en \in por mes, del kW en un determinado periodo de referencia, y a continuación se indica el *Recargo del precio del* kW (y descuento, con signo negativo) en porcentaje respecto al *Precio Base de Potencia Contratada,* correspondiente a cada periodo, *IkW_i*

$$PkW_i = PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100})$$

con:

 PkW_{base} : Precio base del kW por mes en _{el} periodo de referencia

 $\overrightarrow{IkW_{\perp}}$ Recargo/Descuento % respecto del precio base del kW/mes en el periodo i

En _{función} los conceptos enunciados GESTAR estima _{el} coste anual de la potencia contratada, *CPC;* mediante la expresión:

$$CPC_{\text{E}} = \left(\frac{\rho \cdot g \cdot Q_d \cdot H_d}{1000 \cdot \eta_p}\right) \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_i}{100} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100}) \cdot 12 \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnual}$$

Siendo:

 R_i : Los Coeficientes de Reparto de la Potencia Contratada para el periodo *i* (%)

 $\overline{K_{reac}}$. Término de potencia reactiva en función del cos φ

 $K_{incAnual}$: Término de incremento anual del coste de la energía

Alternativamente, puede prescindirse de la discriminación de periodos utilizando un precio constante del kW por periodo, obtenido como media ponderada con la potencia contratada:

$$\overline{PkW}_{1/NP} = \frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_i}{100} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100})$$

ASISTENTE OPTIMIZACIÓN DE LA RED, en su página 248, para la comprensión de estos parámetros y cómo inciden en el cálculo para la obtención del dimensionamiento óptimo.

Si el usuario pulsa el botón *configurar*, el usuario podrá seleccionar la impresora virtual que desea para los informes generados tras el dimensionado. Se puede acceder a esta herramienta a través del menú: *Archivo/ Configurar impresora virtual dimensionado* (ver pág. 136 con información detallada).

Características...

Con esta opción se establecen las propiedades físicas del fluido circulante, supuestas constantes en toda la red, así como el tipo de formulación para las pérdidas de cargas continuas, que se va a emplear. También permite incluir el cálculo automático de las pérdidas en bifurcaciones.

Se va a explicar cada una de las partes de la ventana correspondiente a esta acción del menú de *Programas* (FIGURA 6.20).

Etiquetas	Vis	ualización	Magnitudes	
Nodos	Elementos h cálculo de pérdida williams r + Hazen-Williams g Veisbach r + Darcy-Weisbach onómicas singular: (%) c en bi <u>í</u> urcaciones	Parámetros Datos del fluido Viscosidad Ky Dgnsidad Kg Presion Vapo	Características g/ms 0,001 g/m3 1000 or a 25º 0,0001 o datos de fluidos 0	Configuración Definir estos parametros como predeterminados Malores que originalmente ofrecía Gestar.
	A	Course		

FIGURA 6.20 Preferencias/ Características.

• Datos del Fluido.

Aparecerá una ventana de diálogo (FIGURA 6.20), en la que en el bloque denominado *Datos del Fluido*, se define, para el fluido circulante a la temperatura de trabajo, los valores de la *viscosidad* del fluido, μ , su *densidad*, ρ , y presión de vapor P_v

en unidades correspondientes al *Sistema Internacional*. Los valores que aparecen por defecto corresponden al agua a temperatura de 15 °C.

Debajo tenemos el botón *Base de datos de fluidos*. Éste nos introducirá a una ventana (FIGURA 6.21) desde la cual podremos acceder a clases de fluidos que tengamos guardados para poner directamente sus datos en las casillas correspondientes de la ventana *Preferencias/ Características*. En esta ventana tendremos una base de datos, para: introducir nuevos fluidos, botón *Agregar*, quitar fluidos de la base, botón *Eliminar*, después de haberlo seleccionado en la tabla, y poner los datos del fluido que queramos en nuestra ventana principal, botón *Aceptar*.

fluidoAquoso	Qensidad	

FIGURA 6.21 Base de datos de fluidos.

• Formulación para Cálculo de Pérdidas.

En el bloque de la derecha, *Formulación para cálculo de pérdidas*, se elegirá una de las formulaciones de evaluación de las pérdidas de carga continuas en las *Tuberías*, de entre las que se ofrecen.

MUY IMPORTANTE: En función de la formulación seleccionada, se establece el parámetro que se deberá introducir en casilla *Factor de Rugosidad* que se define en las *Tuberías*, pág. 99, y *Emisores*, pág. 95.

¡SEA CONSISTENTE EN LA DEFINICIÓN DE LA FORMULACIÓN DE PÉRDIDAS DE CARGA CONTINUAS Y EN LA ESPECIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE RUGOSIDAD EN TODOS LOS ELEMENTOS!!

El número de *Reynolds* del conducto se evalúa como $Re = \rho VD/\mu$. Seguidamente se identifican las formulaciones que se ofrecen y el significado del *Factor de Rugosidad* correspondiente a cada caso.

 Laminar. Usa la formulación Darcy-Weisbach para el cálculo de pérdidas pero con λ = 64/Re (el Factor de Rugosidad tendrá un valor arbitrario no nulo). • *Hazen-Williams*. El *Factor de Rugosidad* corresponde a los valores de C_H , dados en tablas; esta formulación sólo es válida para agua. La pérdida de carga se calcula mediante la expresión:

$$V = 0.355 C_H D^{0.63} (\Delta H/L)^{0.54} \text{ que equivale a } \Delta H/L = \frac{10.376 Q^{1.85}}{C_H^{1.85} D^{4.86}}$$

- ♦ Laminar + Hazen-Williams. La pérdida de carga se calcula como Hazen-Williams excepto si Re < 2000, en que los cálculos se efectúan como en Laminar.
- ◆ Blasius. El Factor de Rugosidad tendrá un valor de $C = \left(\frac{2g}{0,13164}(\rho/\mu)^{\frac{1}{4}}\right)^{\frac{4}{7}} = 75$ para el agua. El *Elemento* se modela como un tubo liso. La formulación utilizada es:

$$V = \left(\frac{2g}{0,13164} \left(\rho/\mu\right)^{\frac{1}{4}}\right)^{\frac{4}{7}} D^{\frac{5}{7}} \left(\Delta H/L\right)^{\frac{4}{7}} \text{ que equivale a } \Delta H/L = C \frac{Q^{1.75}}{D^{\frac{4}{75}}}$$

◆ Manning. El Factor de Rugosidad adoptará los valores de n dados en tablas. Se utiliza en condiciones de régimen turbulento rugoso. Los cálculos se realizan mediante:

$$V = \frac{0.4D^{2/3} (\Delta H/L)^{1/2}}{n} \quad \text{que equivale a} \quad \Delta H/L = \frac{10.3 \ n^2 Q^2}{D^{5.33}}$$

Darcy-Weisbach, λ según Colebrook. El Factor de Rugosidad será la Rugosidad absoluta en metros. Se emplea la siguiente formulación:

$$\Delta H = \lambda \Big(Re, \varepsilon \Big) \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \text{con} \quad \lambda^{-1/2} = -2 \log \bigg(\frac{\varepsilon}{3,71} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \bigg), \quad e = rug/D$$

- Laminar + Darcy-Weisbach, λ según Colebrook. Los cálculos se realizarán como Darcy-Weisbach, λ según Colebrook excepto si Re < 2000, en que se procederá como en Laminar.
- ♦ Otras Monómicas. Definidas por el usuario. (No disponible en esta versión).

En la casilla *Factor de Rugosidad* de los *Elementos Tubería*, pág. 99, y *Emisores*, pág. 95, aparece un texto que recuerda la formulación que se ha seleccionado y el tipo de factor a introducir.

ATENCIÓN: Si se cambia la formulación de pérdidas de carga, *los Factores de Rugosidad* introducidos en los *Elementos Tubería* y *Emisores* ya creados **no se traducen a la nueva formulación**, si no que permanecen tal y como ha sido definidos inicialmente. Tenga precaución de no mezclar definiciones del *Factor de Rugosidad* distintos para distintos *Elementos*.

En caso de que desee realizar un cambio de formulación, proceda a encontrar primero las equivalencias aproximadas entre los antiguos y nuevos valores y haga uso de la opción de exportar la red a una base de datos ACCESS del *Menú: Archivo/Exportar/ Base de datos ACCESS*. A continuación abra el fichero ACCESS que contenga la red exportada y modifique sobre la tabla correspondiente a las *Tuberías* (y/o *Emisores*) el campo asociado *al Factor de Rugosidad* en todos los *Elementos* afectados, auxiliándose si es preciso de las herramientas de búsqueda y sustitución de la base de datos.

• Pérdidas en Bifurcaciones

En una red de tuberías, las intersecciones o bifurcaciones producen pérdidas singulares que, aunque no son de valores muy elevados de forma individual, es conveniente tener en cuenta por su efecto acumulativo. Las intersecciones y bifurcaciones más habituales son formadas por tres ramales, que se unen o dividen en un punto. Mucho menos frecuentes son los nudos en los que existen cuatro o más tuberías, ya que los enlaces múltiples suelen ser ejecutados mediante uniones consecutivas en "T". Al activar la casilla Pérdidas en bifurcaciones, GESTAR añadirá pérdidas de carga singulares en los tramos adyacentes en todos los Nodos donde convergen tres conducciones, según la metodología y expresiones recogidas en BLEVINS, R. D. (1984): "Applied Fluid Dynamics Handbook". Pág. 91. Las intersecciones en dicha referencia se toman ortogonales existiendo diversas combinaciones de intersección y división de aguas según los sentidos de circulación del fluido en los tres conductos. GESTAR discrimina, según la dirección del flujo en los conductos, la combinación correspondiente y procede al cómputo de las expresiones correctas. En cualquier caso, se recomienda comprobar las diferencias encontradas en los resultados al incluir o excluir las pérdidas en bifurcaciones mediante la simple activación y desactivación de la casilla Pérdidas en bifurcaciones.

Si una intersección o bifurcación tiene un carácter especial (múltiples conductos, ángulos de inserción muy diferentes,...), y se dispone de la información adecuada para caracterizarla, siempre será posible contemplarla como una *Pérdida Singular* e incorporarla a los *Elemento Tubería* anexos. En tal caso, téngase en cuenta que si el *Nodo* corresponde a una unión triple, se superpondrán las pérdidas singulares introducidas por el usuario con las pérdidas incorporadas por GESTAR al activar la casilla *Pérdidas en bifurcaciones*. Normalmente este efecto será irrelevante (y además se encuentra del lado de la seguridad) pero, si desea eliminar este error, simplemente añada un nuevo conducto a la unión de longitud y diámetro arbitrario y cerrado en su otro extremo, de manera que GESTAR no incorpore pérdidas singulares a los tramos del *Nodo* (por ser un *Nodo* que une cuatro *Tuberías*), contemplándose entonces exclusivamente las impuestas por el usuario.

Si se incorporan manualmente pérdidas singulares en los conductos adyacentes a los *Nodos* (bien sea por unión de *Tuberías* o por cambio de diámetro) tenga en cuenta la posibilidad de que los sentidos de circulación sean distintos de los supuestos, o cambien en el transcurso de la simulación, lo que alteraría el valor de los coeficientes introducidos.

En el ANEXO VI (pág. 371) se realiza un estudio pormenorizado de las pérdidas en bifurcaciones.

♦ Pérdida Singular

Permite definir longitudes equivalentes para incorporar pérdidas de carga singulares de forma simplificada y distribuida. Al seleccionar esta opción, quedará accesible la casilla a la derecha donde deberá determinarse la *Longitud equivalente* como porcentaje a añadir a la longitud definida en cada tramo.

Grupos de Tuberías Libres

Esta opción equivale a la ya descrita para el icono 💆. (ver pág. 127).

6.7 MENÚ RESULTADOS

En el Menú Resultados se encuentran opciones para la consulta de las resultados de las diversos tipos de simulaciones contempladas en GESTAR, *Escenarios Simples*, *Escenarios Aleatorios y Evolución Temporal*, así como la posibilidad de configurar los rangos del código de colores.

Listado Numérico...

La opción *Listado Numérico* del menú *Resultados* permite visualizar los resultados obtenidos del escenario mostrado en la ventana *Mapa* la red actual en forma numérica, una vez realizado el cálculo de ésta.

La ventana que se obtendría al seleccionar la opción *Listado Numérico* sería la mostrada en la FIGURA 5.15, y se explica detalladamente en un *Capítulo específico* (pág. 180). Los valores que se muestran para *Nodos* y *Elementos* se corresponden al escenario actual.

Cuando la simulación realizada es la de un escenario simple, los valores mostrados son los únicos disponibles. En este caso la opción corresponde a la acción del icono il de la barra de herramientas de GESTAR.

Cuando se muestra en la ventana *Mapa* un escenario crítico de un *Escenario Aleatorio* (pág. 66) los resultados del *Listado Numérico* corresponden a dicho caso crítico. En este caso la opción corresponde a la acción del icono de la ventana *Casos críticos*.

Cuando se muestra en la ventana Mapa un escenario asociado a un paso temporal en una Evolución Temporal (pág. 69) los resultados del Listado Numérico corresponden a dicho intervalo. En este caso la opción corresponde a la acción del icono de la ventana del cursor de la *Evolución temporal*.

En el caso de que se haya realizado un análisis de la red mediante *Escenarios Múltiples* y existan escenarios válidos (que no hayan infringido las alarmas configuradas), el listado numérico muestra los valores máximos, medios o mínimos, según se haya seleccionado en la ventana de *Leyenda de Colores* una de estas tres opciones.

Resultados en Evolución...

La opción se encuentra activa cuando se ha concluido la simulación de una *Evolución temporal*. Muestra la *Tabla de Evolución Temporal* que aparece en la FIGURA 5.17 y por tanto equivale a la acción del icono interporal tras una simulación temporal.

Código de Colores (CTRL + L)

Al seleccionar esta opción aparecerá una ventana donde se podrá especificar los colores con que serán representadas las distintas variables en la salida gráfica, tanto en *Nodos* como en *Elementos*, así como los intervalos numéricos para cada color y la forma en que éstos son asignados, manual o automáticamente.

La información sobre esta opción se encuentra recogida en la descripción del botón **E** de la barra de herramientas (pág. 71).

6.8 MENÚ ALARMAS

Este menú permite establecer la generación de alarmas durante cualquiera de los tipos de simulación que permite GESTAR. Una alarma consiste en un aviso que recibe el usuario durante la ejecución de la simulación del escenario, en forma de marcador gráfico y/o texto, que le avisa de que alguna variable ha excedido, por exceso o por defecto, los valores máximo y mínimo que se han especificado previamente. En virtud de estas alarmas se facilita la detección y análisis de las disfunciones existentes en la red provocadas por excesos de demanda, sobrevelocidad, consumos improcedentes, fugas, etc., facilitando un filtrado preliminar de configuraciones patológicas que podrán subsiguientemente ser estudiadas en detalle Estas funciones serán de sumo interés de cara al diseño y la gestión de la red:

DISEÑO

Estableciendo una secuencia de ensayos automáticamente concatenados con diferentes condiciones de consumo aleatorias, con porcentajes de simultaneidad constantes o asimismo variables, se extractarán y almacenarán exclusivamente los casos que violen las restricciones impuestas para su posterior análisis, detectando los puntos que sistemáticamente u ocasionalmente, se convierte en críticos.

Asimismo realizando simulaciones previas que establezcan estados anómalos de la red debidos a paradas de grupos de impulsión, consumos excesivos, roturas, usos improcedentes, obstrucciones, etc., podrán localizarse inmediatamente las variables y las zonas más sensibles y generar una librería de estados de disfunción, sintetizados por ciertos valores característicos de las variables hidráulicas en puntos o secciones de control adecuadas.

GESTIÓN

Cuando se efectúa la simulación de una programación de riegos, la configuración de alarmas adecuadas en velocidad, presión, nivel de los depósitos... facilita la verificación del correcto comportamiento de la red durante todo el proceso, advirtiéndose inmediatamente de las disfunciones encontradas.

Configuración...

Con esta opción aparece una ventana para establecer los rangos de valores admisibles para una serie de variables de control, de modo que, al calcular escenarios simples o con las opciones *Escenarios Múltiples* (pág. 66) o *Evolución Temporal* (pág. 69) las variables que queden fuera de rango en el escenario sean detectadas y señaladas al usuario. La ventana *Alarmas* (FIGURA 6.22) no solo sirve para establecer los márgenes de validez de las variables, si no que permite almacenarlas, recuperarlas y fijar algunas otras opciones.

En lo relativo a la definición de las variables susceptibles de controlarse y la demarcación de los rangos respectivos, en la presente versión se pueden configurar alarmas de tipo genérico para:

Módulo de la velocidad en Conductos.

Módulo de la pérdida de carga por unidad de longitud en Conductos.

Módulo de la velocidad en la brida de aspiración en Bombas.

Módulo de la velocidad en Válvulas de Regulación.

Módulo de velocidad en los Elementos de goteo.

Altura de presión en Nodos de Consumo Conocido e Hidrantes Reguladores.

Altura de presión en Nodos de Unión..

Módulo del consumo en Nodos de Consumo Conocido e Hidrantes Reguladores.

Para configurar una de las anteriores alarmas se deberá introducir (FIGURA 6.22) los valores mínimo y máximo de la variable respectiva y activar la casilla correspondiente. El intervalo existente entre el valor mínimo y el máximo constituye el

margen correcto de operación. Si la casilla se desactiva, aunque se encuentre definido el margen correcto de operación, no se tomará en cuenta dicha variable para la generación de alarmas.

Alarmas por Hango de Valores	Mínimo 0.5	Máximo 2 m	/s
🦳 Módulo de Pérdida carga/ Long. en Conduccione	s 🔽	m	/s
🦳 Módulo de Velocidad en Bombas		m	/s
🔽 Módulo de Velocidad en Válvulas		m	/s
🦳 Módulo de Velocidad en Elementos de goteo		m	/s
✓ Presión en Nodos Consumo e Hidrantes (CC,HR)	15	45 n	nca
🦳 Presión en Nodos de Unión (U)		n	nca
🦳 Módulo de Caudal en Nodos		m	3/s
🥅 Módulo de Caudal en Nodos		m	3/s
Alarmas Especiales			
🗖 Niveles en Balsas 🗖 Presión Inferior con Regulació	r a la Consigna er n. Margen Tolera	n Nodos ncia (m)	
🥅 Cavitación de Bombas 👘 Presión Negati	iva 🔲 Pote	encia Contratada	C2
Guardar Escenarios Ver Informe	Aceptar	Cance	lar

FIGURA 6.22 Ventana Configuración de Alarmas

Además de los anteriores registros, en la ventana *Alarmas* aparecen opciones y botones adicionales.

- ♦ Alarmas Especiales.
 - Niveles en Balsas

Esta opción tendrá sentido exclusivamente en análisis *con Evolución Temporal* (pág. 69), ya que establece que se dispare una alarma cuando durante *una Evolución Temporal* los niveles en los *Nodos* de tipo *Balsa* superen el nivel máximo o descienda por debajo valor mínimo, valores definidos para cada *Balsa* en su ventana de definición (pág. 84).

• Cavitación en Bombas

Activar esta opción cuando se desee avisar de sucesos de cavitación de las bombas instaladas. Esta situación se produce siempre que el valor del NPSH disponible en la brida de aspiración de cada bomba es menor que el requerido, dado por la curva característica respectiva suministrada por el fabricante. Lógicamente la curva de NPSHR deberá estar definida para la bomba objeto de control.

El término de N.P.S.H. (Net Positive Suction Head) se traduce como la carga neta de aspiración, tratándose del valor de la presión absoluta $p_1/\rho g$ a la entrada de la bomba.

ATENCIÓN: Cuando existe cavitación, las prestaciones de la bomba se degradan y los resultados hidráulicos y energéticos obtenidos con las curvas características introducidas para la definición del equipo, no son válidos.

• Presión Inferior a la Consigna en Hidrantes.

Al activar esta opción quedarán marcados en la ventana *Mapa* con un círculo amarillo los *Nodos* en una situación tal que:

Si el hidrante se ha simulado mediante un *Nodo de Consumo Conocido* (que tenga especificada y activa la opción presión de regulación) la presión en la red desciende por debajo de la presión de consigna.

Si el hidrante se ha simulado mediante un *Nodo Hidrante Regulador*, la presión desciende por debajo de la presión mínima de operación del hidrante (igual o menor a la de consigna).

Para ambos casos, en la casilla a la derecha de la opción se podrá asignar un *Margen de Tolerancia*, que reducirá el número de falsas alarmas, de manera que se tendrá alarma sólo en aquellos *Nodos* cuya presión sea inferior al valor obtenido al restarle a la *Presión de Consigna* el *Margen de Tolerancia*.

• Presión Negativa.

Si se activa esta opción quedarán marcados tras la simulación aquellos *Nodos* de *Consumo Conocido* e *Hidrantes Reguladores* para los que se obtengan valores de presión negativos, independientemente de que se hubiera activado o no la opción presión de regulación.

Potencia Contratada.

De utilidad durante el proceso de análisis de *Evolución Temporal*. Si se activa, se lanzará un aviso para aquellos escenarios en el que los requerimientos de potencia en la estación de bombeo superen la potencia prevista de contratación (ver pág. 287).

• Guardar Escenarios Críticos.

Esta opción sólo puede activarse una vez se accede previamente a la ventana *de Escenarios Múltiples* (pág. 272) ya que establece que se almacenen, para su posterior consulta y análisis, aquellos escenarios generados por la herramienta *Escenarios Múltiples* que hayan implicado el disparo de alguna alarma.

• Guardar Informe en Base de Datos.

De utilidad exclusiva en análisis de *Evolución Temporal*. Al seleccionar esta opción, el usuario deberá especificar el nombre y ruta del documento, que será guardado en formato "*.mdb".

Resulta de utilidad para comunicación con software de terceros, y es el formato de generación de alarmas en TELGESTAR. El almacenamiento de alarmas en formato base de datos permite efectuar operaciones de proceso de información tales como análisis estadísticos, cómputo de penalizaciones por exceso de consumo de potencia... Si se han definido niveles de alarmas locales (caso de la *Presión Inferior a la de Consigna*) o globales, con valores tales que todos los escenarios resulten críticos, se obtendrá directamente una descripción completa de los resultados obtenidos en todos los escenarios simulados.

♦ Botón

Es posible guardar automáticamente configuraciones de alarmas en ficheros independientes para su posterior recuperación. Los *Ficheros de alarmas* tienen por defecto la extensión ".mdb". El botón *Guardar* creará una ventana de diálogo para establecer el nombre y directorio donde se crea el fichero.

Botón 🖻

Para recuperar un *Fichero de alarma* previamente creado hay que pulsar este botón que despliega una ventana de diálogo que permite mostrar y seleccionar los ficheros de extensión ".mdb".

• Botón Ver Informe

El botón *Ver Informe* amplía la ventana para dar acceso al listado (FIGURA 6.23) que constituye el informe que identifica el origen de las alarmas producidas en la simulación. El informe que se visualiza tiene un tamaño máximo de 1.612 líneas de texto. El informe completo puede guardarse como archivo de texto con el botón *Guardar Informe* (aparece en esta ampliación de la ventana) con el fin de conservar y analizar el listado de alarmas en formato de texto. Estos archivos tendrán extensión "*.ifa" o ".txt".

Informe de Alarmas

Se despliega directamente la ventana de la FIGURA 6.23 ofreciéndose el contenido del informe de alarmas (hasta un máximo de 1.612 líneas de texto).

Alarmas					23
2 B					
Alarmas por Rango de Valores	Mínimo	M duine a		TU19: Velocidad = 3,854441r	n/s
✓ Módulo de Velocidad en Conducciones	0.5	2.5	m/s	TU21: Velocidad = 2,929894/ TU22: Velocidad = 3,153792r TU23: Velocidad = 3,153792r	n/s n/s n/s
Módulo de Pérdida carga/ Long. en Conducciones			m/s	1024: Velocidad = 3,153/92r 231: Presión = 89,16083 mca 2301: Presión = 78,0079 mca	n/s
🦳 Módulo de Velocidad en Bombas			m/s		
Módulo de Velocidad en Válvulas			m/s		
Módulo de Velocidad en Elementos de goteo			m/s		
✓ Presión en Nodos Consumo e Hidrantes (CC,HR)	38	70	mca		
Fresión en Nodos de Unión (U)			mca		
F Módulo de Caudal en Nodos			m3/s		
🦵 Módulo de Caudal en Nodos			m3/s		
Alarmas Especiales		1000000 010			
☐ Niveles en Balsas ☐ Presión Inferior a con Regulación.	la Consigna e Margen Tolei	en Nodos rancia (m)			
🗖 Cavitación de Bombas 👘 Presión Negativa	e 🗆 Po	tencia Contral	tada		
Guardar Escenarios Críticos	Acepta	ar Ca	ancelar	Guardar informe completo	
- Guardar informe en base de datos					

FIGURA 6.23 Alarmas/ Informe

El *Informe de Alarmas* ofrece diferente información en función del tipo de cálculo que haya tenido lugar:

- Cálculo Simple. Se listará cada *Nodo* o *Elemento* que haya infringido las alarmas, acompañado del valor de la variable infractora.
- Evolución Temporal. Se añadirá la información del escenario en el que ha tenido lugar cada infracción.
- Escenarios Múltiples. Además, se listará un Desglose de infracciones por componentes, donde se informará del número de veces que cada Nodo o Elemento de la red ha incumplido las restricciones impuestas por las alarmas. También se informará de los 5 Nodos de consumo con presiones mínimas menores dentro de los pases que no han infringido las alarmas. Esta última información se recogerá en el Informe de Alarmas aún en el caso de que éstas no hayan sido activadas mediante la casilla Guardar Casos Críticos de la Ventana de Alarmas. La información se complementa con una serie de datos estadísticos de interés en función de las alarmas activas (promedio de infracciones en cada Escenarios Aleatorio, porcentaje de Nodos abiertos que no alcanza la presión de consigna, etc.).

La información contenida en el *Informe de Alarmas* puede almacenarse en un fichero a través del botón *Guardar Informe de Alarmas*. Al pulsarlo, un cuadro de diálogo permitirá crear el correspondiente *Fichero de Alarmas* (extensión "*.ifa") o un fichero de texto convencional (extensión "*.txt").

La información de este informe puede volcarse fácilmente a un fichero *.xls para su procesado y análisis. El listado de todos los valores resultantes de interés de *Escenarios Múltiples*, puede obtenerse definiendo alarmas cuyo rango o valor se incumpla sistemáticamente o selectivamente.

Niveles en Balsas

Activa o desactiva la casilla correspondiente de la ventana de *Configuración de Alarmas* (pág. 170)

Guardar Escenarios Críticos

Activa o desactiva la casilla correspondiente de la ventana de *Configuración de Alarmas* (pág. 170)

Cavitación de Bombas

Activa o desactiva la casilla correspondiente de la ventana de *Configuración de Alarmas* (pág. 170)

Presión Inferior a la Consigna en Hidrantes

Activa o desactiva la casilla correspondiente de la ventana de *Configuración de Alarmas* (pág. 170)

Presión Negativa

Activa o desactiva la casilla correspondiente de la ventana de *Configuración de Alarmas* (pág. 170)

6.9 MENÚ REGULACIÓN BOMBEO

Información detallada en capítulo VALORACIÓN DE COSTES ENERGÉTICOS Y OPTIMIZACIÓN DE REGULACIONES EN ESTACIONES DE BOMBEO, pág. 297.

Curva de Consigna

A través de esta opción el usuario puede calcular la curva de consigna de la red, esto es, la relación entre la altura de presión a suministrar en cabecera, debiendo ser suficiente para todos los *Nodos* operativos, y el caudal demandado para cada uno de los posibles escenarios. Para ello se generan aleatoriamente combinaciones de escenarios de funcionamiento de porcentajes del 0 al 100% de la demanda posible y se determina en cada escenario la altura requerida en cabecera para alimentar al *Nodo* más desfavorable.

Desde este menú aparece la ventana de la FIGURA 6.24.

Caudales: Analizar hasta Q (m3/s): 0,87	Número de sorteos: 100
Q diseño: 0,87 Q max: 1,14	Paso: [10]
Ajuste curva:	
H=Hmin + k Q ²	Aceptar Cancelar

FIGURA 6.24 Curva de demanda del sistema

Selección de Bombas

El objetivo de este menú es seleccionar las bombas que compondrán la estación de bombeo a instalar. Para ello se dispone de dos procedimientos. El primero de ellos permite el cálculo de una bomba teórica teniendo en cuenta una serie de suposiciones, y el segundo permite la selección de la bomba de una base de datos por medio del punto de diseño. Se accede al cuadro de diálogo de la FIGURA 6.25.

		C6-				
H nominal (m)	0,00	Coenc				
Q nominal (m3/s)	0.87	Curva	Curva Q-H:			
	10	A=	B=		C=	
⊃(%)	110					
Rend (%)	70	Curva	Rendimiento:			
u∎ bombas total		F=		G=		
(fijas + variable):	12	1 2				
				Γ	Calcular	
Elegir bomba d	lesde Bas	e de Datos-				
Elegir bomba o	lesde Bas	e de Datos - Q m3/s	Hm	P kw	Rend %	*
E legir bomba (Buscar Bomba	lesde Bas	e de Datos - Q m3/s	Hm	P kw	Rend %	*
E legir bomba d Buscar Bomba	desde Bas	e de Datos - Q m3/s	Hm	P kw	Rend %	* III
E legir bomba (Buscar Bomba	desde Bas	e de Datos - Q m3/s	Hm	P kw	Rend %	*
E legir bomba (Buscar Bomba	desde Bas	e de Datos - Q m3/s	Hm	P kw	Rend %	* III
E legir bomba (Buscar Bomba	desde Bas	e de Datos - Q m3/s	Hm	P kw	Rend %	•
Elegir bomba (Buscar Bomba	desde Bas	e de Datos - Q m3/s	Hm	P kw	Rend %	•
Elegir bomba (Buscar Bomba	desde Bas	e de Datos - Q m3/s	Hm	P kw	Rend %	• •

FIGURA 6.25 Selección de bombas.

Mediante el primer cuadrante, desde GESTAR se permite el cálculo de una bomba teórica teniendo en cuenta una serie de suposiciones. Se aconseja la utilización del modelo teórico cuando no se disponga de catálogos comerciales o se pretenda dimensionar la red sin entrar todavía a precisar el tipo de grupos de bombeo que ha de ser instalado. Esta estrategia permite obtener valores aproximados de las características que deberá poseer la bomba comercial la que finalmente se ha de implantar en la instalación para satisfacer las demandas de diseño y funcionamiento del sistema. Para obtener los coeficientes que definen la curva de las bombas a estimar es necesario partir de unos datos de entrada, cuya descripción detallada se encuentra en el apartado 10.6.2 REGULACIÓN DE LA ESTACIÓN (pág. 314).

A través del segundo cuadrante se accede a la *Base de Datos de Bombas*, y mediante las herramientas de búsqueda de bombas según el punto de funcionamiento nominal, o selección directa de tipo, modelo y rodete, comunes a la configuración de *Elementos Bomba* (ver pág. 116), se obtienen en forma tabular las curvas características de la bomba seleccionada.

Función Densidad de Probabilidad del Caudal Bombeado

Este menú permite el cálculo de la distribución de la demanda en la *Tubería* de cabecera de una red de riego a la demanda de topología ramificada por medio de la combinación de las funciones de densidad de probabilidad de caudales, de tipo normal, mensuales, dependientes de las necesidades hídricas diarias del mes, de la configuración

topológica, de las dotaciones de los hidrantes, y de las parcelas y cultivos, conduciendo a la función de densidad de probabilidad supuesta para las demandas en la red. El usuario accede a la ventana de la FIGURA 6.26.

Necesidades diarias (mm):	 Franjas horarias tarifas eléctricas: – C NO aplicar franjas horarias 	Stan S		
Enero: 0,00	Aplicat frapias botarias:			Funta
Febrero: 0,02		12 n		1 4 n
Marzo: 0,66	– Jornada Efectiva Riego			
Abril: 0,8		Reparto de I	a iomada efec	tiva de riego:
Mayo: 1,88	JEH: 18 h	Valle	Llano	Punta
Junio: 2,65		9 h	6 h	3 h
Julio: 4,5				
Agosto: 4,09	Reparto de los tiempos de riego: —			
Septiembre: 1,4				
Octubre: 0,00	Heparto logico - economico	Valla	Linna	Bunka
Noviembre: 0,00	C. Peperto por % de volumenes or	valle specides: 50		
Diciembre: 0,00		Valle []	ano F	Punta
Q límite 0,87 (m3/s):	Mes máximas necesidades:	*	~ [%
Paso Q 1	Exportar medias y varianza		1	

FIGURA 6.26 Función de Densidad de Probabilidad del Caudal

Se realiza una explicación pormenorizada de cada una de las opciones de esta ventana en el.

Regulación de Bombeo

Nos conducirá a la ventana mostrada en la FIGURA 6.27. Desde ella, el usuario podrá establecer la composición de la estación de bombeo (esto es, la implementación del tipo y número de bombas de velocidad fija y variable, permitiendo una amplia gama de combinaciones y determinar la curva de consigna de la instalación (introduciendo de forma manual sus coeficientes o bien siendo calculados desde GESTAR). Finalmente, se podrá obtener un nuevo documento EXCEL en donde se recogerán las prestaciones de la estación de bombeo, incluyendo resultados como potencia absorbida por cada bomba, rendimiento, altura suministrada por la estación, altura demandada por el sistema, potencia útil y rendimiento global, entre otros.

Datos generales para el análisis Analizar hasta Q Intervalos Q (m3/s): 1	Curva de consigna H min K: Curva de consigna
BOMBAS DE VELOCIDAD FIJA Comment: pm Q m3/s H m P kw Rend % Comment: Comm	BOMBAS DE VELOCIDAD VARIABLE Comment: Funcionamiento secuencia Funcionamiento simultáne rpm 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
Aceptar Cancelar	Aceptar Cancelar
Bomba/Estado Estado-1 Estado-2 Estado-3 Estado	Secuencia Bombas Fijas Bomba Q corte Bomba Q corte Bomba Q corte

FIGURA 6.27 Regulación de Bombeo

Para conocer su funcionamiento descrito de forma detallada, ver apartado 10.6.2 REGULACIÓN DE LA ESTACIÓN (pág. 314).

Costes Energéticos

En este menú se incluyen los pasos necesarios para llevar a cabo el cálculo detallado de los consumos energéticos anuales de la estación de bombeo a analizar, considerando todos los regímenes de caudal a lo largo del año.

El proceso consta de cuatro etapas a las que se accede mediante cuatro pestañas: Datos de la red, Regulación de la Estación, Datos energéticos y Resultados Energéticos. Ver información sobre el proceso completo en el apartado específico.

6.10 MENÚ AYUDA

Desde el menú *Ayuda* se posibilita al fichero de ayuda de GESTAR (Gestar.hlp) y a una serie de informaciones generales sobre el programa.

<u>Ayuda</u>

Desde este menú se accede al fichero de ayuda GESTAR.*HLP*, donde se encuentra toda la información acerca del funcionamiento de GESTAR. También se puede visualizar este fichero mediante la pulsación de la tecla F1 en cualquier momento mientras se trabaja con GESTAR.

Acerca de GESTAR

En este apartado se suministra información de las entidades colaboradoras del programa y de las personas que han realizado el mismo.
7.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen las distintas metodologías dispuestas en GESTAR de creación y edición de redes, incidiendo en las posibilidades de intercambio de información con otras aplicaciones. Se detallan además, los modos de visualización y documentación de los resultados de los cálculos.

Por otro lado, independientemente de la herramienta empleada en la construcción de un modelo hidráulico para su dimensionado y/o simulación se requiere recopilar previamente la información precisa para especificar los tres tipos de datos que constituyen el escenario: *topología constructiva de la red*, *condiciones de contorno* determinadas y una *configuración de los dispositivos de control* concretas. (ver Anexo I, pág. 335). Cada uno de estos bloques requiere especificar la siguiente información, según el tipo de funcionalidad empleada. Se adjunta a continuación una Tabla Resumen con estos requerimientos según la funcionalidad que se desee llevar a cabo de entre las siguientes:

- un proceso de DIMENSIONADO (caso 1),
- un ANÁLISIS HIDRÁULICO (caso 2),
- un ANÁLISIS ENERGÉTICO cuando se desconozca la *curva de consigna* (caso 3).

Cuando la casilla correspondiente aparece sombreada con una coloración oscura, se expresa que ese requerimiento debe ser implementado de forma *obligatoria*, si aparece con coloración más clara se podrá implementar de forma *optativa*.

	1	2	3
Cotas nodos			
Dotaciones en los hidrantes			
Consumos en Hidrantes			
Presiones de Consigna			
Longitudes Tuberías			
Diámetros y <i>Rugosidad</i> es Tuberías			
Niveles Energéticos en cabecera			
Características hidráulicas de los equipos de bombeo			
Piezas especiales instaladas			
Características hidráulicas comportamiento global de las parcelas			
Datos Agronómicos			
Tarifas Eléctricas			

Tabla 7-1 Tabla Resumen Requerimientos

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

Entorno Gráfico. La definición de los Nodos y Elementos de una red la realiza el usuario interactivamente en la ventana Mapa a partir de las herramientas dispuestas para ello en GESTAR. (pág. 183). Esta metodología nativa es autosuficiente para crear cualquier escenario y puede usarse complementariamente a cualquiera de las otras alternativas citadas más abajo. Para utilizar este procedimiento como base de trabajo hay que recurrir al menú Archivo/ Red Nueva si la red no existe (disponible también en1° el segundo botón de la Barra de Herramientas D) o al menú

Archivo/ Abrir Red si el fichero correspondiente ya ha sido creado previamente (disponible también en el segundo botón de la *Barra de Herramientas*)

- Abrir Digitalización. Opción del Menú Archivo/ Abrir Digitalización mediante la que se importan las coordenadas de puntos de una digitalización, guardados en un fichero ASCII, configurados como Nodos de Unión, a partir de los cuales el usuario construirá el resto de la red interactivamente utilizando las herramientas dispuestas para ello en GESTAR (pág.185).
- ♦ Importar una base de datos desde ACCESS. Opción del Menú Archivo/ Importar/ Base de datos ACCESS que ofrece la posibilidad de importar la información de red desde una base de datos ACCESS (pág.194).
- Entrada de datos desde AUTOCAD. Se ofrece la posibilidad de generar (y exportar) la topología de la red con la aplicación AutoCAD (pág. 195).
- Unir redes. Opción del Menú *Archivo / Unir redes*, que permite generar una nueva red a partir de dos existentes (pág. 208).

GESTAR permite a su vez la salida de datos y resultados de forma eficaz mediante diversos procedimientos:

- Exportar la red a una base de datos ACCESS. Opción del Menú Archivo/ Exportar/Base de datos ACCESS posibilita exportar información de cualquier red a una base de datos ACCESS (pág. 190).
- Salida de datos y resultados a AUTOCAD. Permite generar un plano con la topología de la red y la información deseada en formato*.dwg (pág. 205).
- Entorno Gráfico. Desde el entorno gráfico se implementan herramientas que de forma interactiva facilitan el estudio y análisis de datos y de los resultados obtenidos a través de los diferentes protocolos de cálculo, pudiendo almacenarse en ficheros de diversos formatos (pág. 211).

7.2 GENERACIÓN MEDIANTE ENTORNO GRÁFICO

Por *Elemento* se entiende cualquier componente hidráulico susceptible de ser recorrido por un fluido. Los *Elementos* disponibles en GESTAR son: *Tubería, Bomba, Válvula de Regulación, Elemento Libre y Líneas de Emisores.*

Por otra parte, un *Nodo* se define como una intersección de dos o más *Elementos* o el extremo libre de un *Elemento*. *Nodo de Unión*, *Embalse*, *Balsa*, *Nodo de Presión Conocida*, *Nodo de Consumo Conocido*, *Hidrante Regulador*, *Nodo de Doble Condición*, *Nodo Libre* y *Nodo Emisor* son los distintos tipos de *Nodos* que GESTAR ofrece.

Para comenzar la generación gráfica de una red se debe activar el comando Red Nueva (disponible en el menú Archivo o en el primer botón de la Barra de

Herramientas, botón D). Se abrirá el cuadro de dialogo representado en la FIGURA 7.1 mediante el cual el usuario deberá asociar una base de datos de tuberías de nueva creación o existente a la nueva red (ver apartado 11.1 BASES DE DATOS DE TUBERÍAS, pág. 322).

Image: Sector Image: Sector Image: Sector Image: Sector Image: Sector Image: Sector Image: Sector Image: Sector	Gestión Base Datos Tuberías. Red actual: . Base Datos:			X
Gestar Base Datos:	Image: Display state of the state	2 Datos Eliminar	Editar Editar Tabla Tuberías	Asociar a Red Nueva
Pripes Workerd-ex.mdb Sidsdfs.mdb Rugosidad (mm): Tuberias2.mdb Presión max (mca): Tuberias_ejemplo.mdb Imbraje: Aceptar Cancelar Ayuda	Garantian Garantian	Base Datos:	Rugosidad (mm) Presión max (mca)	l

FIGURA 7.1 Gestión Bases de Datos Tuberías.

Seguidamente aparecerá un cuadro de diálogo (FIGURA 7.2) que permite la configuración por el usuario del *Punto Origen* de visualización y las *Coordenadas Máximas* para la ventana de representación gráfica, así como el área visible inicialmente. Estas variables pueden ser modificadas posteriormente llamando a la opción *Ver/Escala* de la barra de menús

La descripción de esta ventana ha sido realizada en la pag. 55

amano	máximo del mapa	Forzar	
∐(m)	1000		
<u>Y</u> (m)	1000		
Porcer	ntaje en ventana: 100	*	
Drigen -			
< Origer	n (m) 0		
	a (m)		

FIGURA 7.2 Escala.

Para ubicar un *Nodo* en la ventana gráfica, se deberá pulsar con el botón principal del ratón sobre el botón correspondiente de la *Barra de Herramientas* y después pulsar sobre el punto de la ventana donde se desee situar el *Nodo*. Para situar un *Elemento*, deberán estar previamente creados los *Nodos* inicial y final del *Elemento*; la ubicación se realizará seleccionando el botón correspondiente de la *Barra de Herramientas* y pulsando sucesivamente sobre dichos *Nodos* inicial y final. Si el *Nodo* inicial y final del *Elemento*, se cancelará la creación del nuevo *Elemento*.

Tras la ubicación, aparecerá una ventana de diálogo (salvo en *Nodo de Unión* y en *Elemento Tubería*, que por defecto no muestran su ventana de diálogo) donde se podrá concretar la ubicación exacta del *Nodo* o *Elemento*, así como los diferentes parámetros necesarios para la correcta definición del *Nodo* o *Elemento*. Haciendo doble clic sobre cualquier *Elemento* o *Nodo* ya ubicado se puede acceder a su ventana de diálogo, donde cualquiera de sus parámetros es susceptible de ser modificado. Si se pulsa con el botón secundario sobre un *Nodo* o *Elemento* se desplegará una ventana donde figurarán las variables y parámetros conocidos.

7.3 ABRIR DIGITALIZACIÓN

El comando Abrir Digitalización... se encuentra en el menú Archivo.

Si se selecciona esta opción aparecerá el cuadro de diálogo, recogido en la FIGURA 7.3 en el que se especificará un tipo de fichero *ASCII* (de extensión "*.dig" o "*.txt") que contiene, a lo sumo, coordenadas e identificadores de puntos individuales. Este tipo de ficheros se habrá generado previamente mediante cualquier recurso, bien sea de forma manual, con el auxilio de herramientas de digitalización de puntos sobre planos (en soporte papel o informático), o mediante hojas de cálculo y/o bases de datos.

Los puntos contenidos en el archivo se importarán automáticamente en GESTAR como *Nodos de Unión* sobre una ventana de mapa nueva. El usuario, al generar el fichero ASCII, deberá incluir todos aquellos puntos que resulten relevantes para la definición de la red, que desee ubicar de forma precisa (de acuerdo

a las coordenadas suministradas) y automática, y no solo los puntos que sean estrictamente *Nodos de Unión* según el esquema hidráulico de la red. Así, junto a los *Nodos de Unión* (puntos de bifurcación, cambios de diámetro y puntos de control...) convendrá especificar, como puntos del fichero, hidrantes, vértices significativos, posición de accesorios y válvulas relevantes, puntos de alimentación, ubicación de impulsiones, etc.

Seguidamente mediante las herramientas de GESTAR se procederá a transformar el tipo de los *Nodos* así dispuestos, a incorporar nuevos *Nodos* y a trazar los *Elementos* que componen la red, tomando como referencia la nube de puntos creada.

El proceso comienza activando la opción del menú *Archivo/ Abrir Digitalización...* desplegándose la ventana de selección de la FIGURA 7.3 en la que se debe seleccionar el fichero que contenga la digitalización (se muestran por defecto los ficheros con extensión *.dig). El fichero deberá ser un fichero de tipo ASCII con los datos asociados a cada *Nodo* registrados en una línea de texto, y con cualquier tipo de formato de número (decimal, entero o científico). Los datos que definen cada punto se encontrarán separados por comas. Utilice el punto para expresar los valores decimales.



FIGURA 7.3Abrir digitalización.

Una vez aceptada la apertura de un fichero que contenga los puntos de una digitalización se despliega una ventana como la de la FIGURA 7.4. En ella se muestra en la parte inferior el contenido del fichero invocado, de manera que el usuario puede comprobar/recordar la estructura de datos grabada. En la parte superior aparecen seleccionadas varias opciones, algunas de las cuales deberán quizá reconfigurarse con objeto de especificar en GESTAR la estructura de la digitalización que se importa.

	e la digital nodo	Cool	rd. 🔀	🔽 Coord	ι <u>Υ</u> Γ	✔ Cota Z
Origen d	e coorde	nadas				
C Es	quina <u>s</u> up	erior izquie	rda			
● Est	quina in <u>f</u> e	rior izquiero	da			
Tras	ación al o	oriaen	Sena	rador:	Símbo	lo decimal
Tras	lación al d	origen	Sepa	rador: ,	Símbo	lo decimal

FIGURA 7.4 Consignación de la estructura de los datos del fichero ASCII.

El orden de los datos asociados a un nodo en cada línea del fichero *.map deberá ser estrictamente el indicado en el recuadro *Datos de la digitalización* de la FIGURA 7.4, siendo opcionales el *Identificador del Nodo* y la *Cota Z*. Si estos valores se suministran en el fichero ASCII, las casillas correspondientes deberán activarse. Las coordenadas X e Y son los únicos datos obligatorios que deben asignarse a todos y cada uno de los nodos.

Si se activa las casillas *Identificador del Nodo* y/o la *Cota Z*, **todas las líneas del fichero** deberán incorporar dichos datos. Si para alguno de ellos se carece de la información respectiva (p.e. cota) rellene el lugar correspondiente con un valor arbitrario, pero nunca deje sin anotar un campo.

El *Identificado del Nodo* será una cadena alfanumérica distinta para cada *Nodo*. Al importar un fichero ASCII, en caso de que no se incluya el *Identificador del Nodo*, GESTAR asignará automáticamente identificativos *NUX*, siendo *X* un número asignado a cada *Nodo* de forma correlativa según figure en el fichero *ASCII*.

Si en el fichero ASCII no se especifican cotas para los *Nodos*, GESTAR los creará asignándoles cota cero.

Tras pulsar el botón *Aceptar* en la ventana de la FIGURA 7.4, se abrirá una ventana similar a la que se accede a través del menú *Ver/ Escala* (pág. 138) desde la que se podrán modificar las dimensiones máximas en X e Y asociadas por defecto, así como la posición del *origen de coordenadas* relativo a la visión del usuario. Si los *Nodos* de la red están muy alejados respecto al origen de coordenadas (p.e. coordenadas U.T.M.), conviene seleccionar *Traslación al origen* con objeto de situar un nuevo origen de coordenadas en un punto próximo al *Nodo* más cercano al origen inicial.

Cuando se hayan completado todos estos requerimientos se pulsa Aceptar en la ventana FIGURA 7.4 y aparecerá la ventana Escala (FIGURA 7.2) descrita

anteriormente. Es recomendable incrementar los valores *Xmax* e *Ymax* del tamaño máximo del *Mapa* con objeto de asegurar la visualización de los *Nodos* más extremos, ya que en ocasiones estos pueden quedar ocultos por las barras de desplazamiento. Una vez se pulsa el botón *Aceptar* de esta última ventana aparecerá la ventana definitiva del *Mapa* con la nube de *Nodos* introducida y sus identificativos. Revise que todos ellos se encuentran correctamente volcados y proceda a la completa construcción de la red con la ayuda del armazón de *Nodos de Unión* importados.

7.4 COMUNICACIÓN CON BASES DE DATOS ACCESS

Mediante la opción *Archivo/ Importar/ Base de datos* ACCESS, GESTAR ofrece la posibilidad de importar todos los datos relativos a un escenario (topología constructiva, condiciones de contorno y configuración de dispositivos) desde un fichero ACCESS (extensión "*.mdb") que contenga el conjunto de tablas necesarias, descritas detalladamente en el anexo VII, pág. 379.

También GESTAR puede exportar (menú *Archivo/ Exportar/ Base de datos* ACCESS) los datos completos de un escenario a una base de datos tipo ACCESS, con la misma estructura que en el caso de la importación, desde donde se puede inspeccionar, cambiar y analizar si se desea los valores de los parámetros de la red.

De esta manera, para facilitar la construcción de un modelo completo o parcial del sistema, a través de los recursos de importación/exportación a base de datos, se puede emplear un *fichero* *.*mdb semilla* que se rellenará íntegramente mediante recursos externos, o que se encontrará parcialmente completo desde el entorno gráfico GESTAR. En el primer caso, este fichero semilla o plantilla se obtiene exportando, mediante la opción *Archivo/ Exportar/ Base de datos* ACCESS, una red sencilla o prototipo, que contenga todos los tipos de *Nodos* y *Elementos* deseados, para a continuación editar e inspeccionar las tablas correspondientes del fichero ACCESS así creado y modificarlas y/o ampliarlas convenientemente adaptándolas al caso completo. En el segundo caso, la topología de la red y parte de la información constructiva del modelo ya existente en le modelo GESTAR se exporta asimismo a *Base de datos ACCESS*, y editando las tablas correspondientes se completa la información necesaria.

Desde GESTAR se utiliza en estas operaciones de comunicación el formato de la versión MS ACCESS 97. Existen problemas de incompatibilidad con la versión ACCESS 2007 y posteriores, puesto que desde el formato por defecto de ACCESS 2007, no se podrá visualizar ni generar bases de datos en formato ACCESS 97. GESTAR podrá seguir interactuando (importación/exportación) con las bases de datos generadas en formato ACCESS 97 aunque este instalado ACCESS 2007. Si el usuario no desea reemplazar ACCESS 2007 en su ordenador por una versión anterior, deberá suministrar las bases de datos a GESTAR 2008 en formato ACCESS 97, generándolas en otro ordenador con versiones anteriores a ACCESS 2007, y visualizar las bases de datos generadas por GESTAR en formato ACCESS 97 del mismo modo.



FIGURA 7.5. Posibilidades de comunicación mediante Bases de Datos

Las herramientas de *Importación / Exportación* a bases de datos son de utilidad, entre otras aplicaciones para:

- Transferir bidirecionalmente topologías y datos constructivos desde entornos GIS y CAD cualesquiera que permiten, directa o indirectamente, volcar la información en la estructura y formato requerido.
- Comunicar y migrar información bidirecionalmente entre GESTAR y aplicaciones de ingeniería alternativas de terceros (dimensionado, análisis,...) o complementarias (transitorios, mediciones, movimientos tierras,..).
- Exportar y formatear en tablas los datos y mediciones detalladas de un sistema y diseño concreto, con objeto de documentar los datos y resultados, elaborar mediciones definitivas, etc.,..
- Realizar búsquedas, establecer filtros, efectuar cambios globales o selectivos, utilizando criterios condicionantes y toda la potencia de organización, búsqueda y manipulación de la información (exportada de GESTAR) que aporta la operativa de la bases de datos ACCESS, incorporando posteriormente estas modificaciones automáticamente en el modelo de la red mediante la operación de importación (por ejemplo búsqueda y modificación selectiva de un tipo de tubería por otro, de una dotación por otra, de un Id por otro,... etc.).
- Facilitar la integración inmediata de los diversos módulos de cálculo incorporados en GESTAR en sistemas de TELECONTROL Y TELEGESTIÓN mediante el *ToolKit TELEGESTAR* cuyas librerías toman y vuelcan datos topológicos y

constructivos de la red, desde de la misma base de datos de Importación /Exportación., base de datos en la que el sistema de TELECONTROL Y TELEGESTIÓN vuelca la información del estado de la red y lee los resultados.

7.4.1 EXPORTAR LA RED A BASE DE DATOS ACCESS

Existe la posibilidad de crear una base de datos de tipo ACCESS que contenga toda la información relativa al escenario mostrado en el *Mapa* (en la actual versión salvo los *Grupos de Tuberías Libres y Líneas de Emisores*) mediante el comando *Archivo/Exportar/Base de datos* ACCESS. Esta base de datos incluye tanto los valores parámetros constructivos de la red y condiciones de contorno impuestas como los valores de las variables calculadas en *Nodos y Elementos*.

El almacenamiento de una red en formato de base de datos posee una característica fundamental que lo diferencia del almacenamiento directo de la red en formato ".red" (mediante la opción *Archivo/ Guardar Red*). En la base de datos, los componentes de la red se encuentran agrupados por tipos en diferentes tablas, en un formato editable y modificable por el usuario, mientras que en un fichero "*.red" se recogen en formato binario los datos de la red para su almacenamiento y posterior lectura desde el programa GESTAR.

7.4.2 EDITAR LA BASE DE DATOS ACCESS

El usuario deberá abrir el fichero guardado en formato.mdb mediante el programa de sistema de gestión de datos *Microsoft* ACCESS.

Desde GESTAR se utiliza el formato de la versión ACCESS 97, debiendo editarse siempre los ficheros *.mdb para introducir cambios, guardando en el formato ACCESS 97. En el caso de trabajar con la versión 2000 o superior de ACCESS, al intentar entrar en la base de datos aparecerá en pantalla un mensaje de consulta preguntando acerca de si se quiere abrir la base de datos en modo sólo lectura o convertirla a otros formatos posteriores. El usuario deberá elegir siempre *Abrir la base de datos*, puesto que si la *convierte*, GESTAR no reconocerá el formato en acciones posteriores. De este modo, desde versiones posteriores a ACCESS 97 (excepto las versiones incompatibles ACCESS 2007 y siguientes) el usuario podrá editar y modificar los valores de los campos, pero no modificar la estructura de la base de datos (modificación que por otro lado no debe realizarse en ningún caso).

Alternativamente, puede abrir la base de datos con conversión a formatos distintos, pero antes de cerrarla de nuevo deberá guardarla, mediante las opciones que puede ofrecer ACCESS, en formato ACCESS 97, si bien esta posibilidad no es tan recomendable como la indicada previamente.

ATENCIÓN: El modo de apertura de la base de datos **sólo lectura**, no permite cambiar la estructura de la base de datos, posibilidad que se excluye ya que alteraría la estructura y/o formato de los campos, haciéndola irreconocible para una importación

posterior mediante GESTAR, pero **permite** la modificación y manipulación local o global de los valores numéricos o alfanuméricos de los campos (incluyendo operaciones de copia y pegado de valores tabulados), así como adición o eliminación de registros en todas las tablas.

La base de datos creada desde GESTAR presenta la apariencia de la FIGURA 7.6 cuando se abre desde ACCESS.



FIGURA 7.6 Red de GESTAR como base de datos (v 2008).

Contiene en la presente versión un total de 19 tablas que recogen toda la información de la red visible en la ventana gráfica en el momento de su creación, incluyendo, en su caso, los valores de las variables hidráulicas del cálculo si éste se ha realizado. El número de tablas será ampliado en el futuro para incorporar nuevos componentes y funcionalidades. Con el fin de conseguir una estructura homogénea en las bases de datos que recogen la información de cualquier red de GESTAR, las 19 tablas actuales son creadas en la base de datos con independencia de que existan o no todos los tipos de *Nodos y Elementos* y su información de configuración respectiva. Por ejemplo, aunque en una red no existan *Nodos Balsa* se creará la tabla *Balsas*, con todos los campos, y con un único registro que permanecerá vacío.

A continuación se muestra la lista de tablas con la página de este manual donde se describe la información relativa a los campos asociados a cada tipo de *Nodo* o *Elemento*.

- Accesorios. Información de los accesorios asociados a los *Elementos Tubería* (pág. 99) o a los tramos asociados a los *Nodos Emisores* (pág. 95).
- **Balsas.** Información de Nodos Balsa (pág. 84) referente a ubicación y altura (x, y cota), niveles (Niv. Max., Niv. Min., Niv. Inicial, Niv. Actual) y en el caso de que la

modelización se realice asimilando la balsa a un depósito troncocónico, Sección y Pendiente (ver Menú: Opciones/ Valores por defecto/Nodos, pág. 145).

- **BalsaSplines.** Información de *Nodos Balsa* referente a la tabla H/V de definición de la curva de *Volumen* (pág. 84).
- Bombas. Información general de Elementos Bomba (pág. 116), y en el caso de que se escoja un ajuste parabólico único para todo el rango de caudales, de los parámetros referentes a esta formulación (ver Menú: Opciones/Preferencias/Elementos, pág. 145).
- **BombaSplines.** Información de *Elementos Bom*ba referente a la tabla de definición para su ajuste mediante *Splines* (ver pág. 116 y 145).
- Tuberías. Información de Elementos Tubería (pág. 99). Por lo general, esta tabla será la más extensa, puesto que el Elemento básico de toda red de riego es la Tubería. Como GESTAR puede tomar los datos de las Tuberías de una completa base de datos, el listado de las Tuberías de la red resulta muy completo y útil.
- Consumo conocido. Información de Nodos de Consumo Conocido (pág. 87).
- **DetallePolitubos.** Información de los vértices intermedios de *Elementos Tubería*.
- Doble condición. Información de Nodos con Doble Condición (pág. 93).
- *Elesk*. Información de *Elementos Libres* (pág. 125).
- *Embalses.* Información de *Nodos Embalse* (pág. 84).
- Emisores. Información de Nodos Emisores (pág. 95).
- *Hidrantes*. Información de *Nodos Hidrantes Reguladores* (pág. 91).
- Nodos de Unión. Información de Nodos de Unión (pág. 83).
- Pérdidas. Listado de todas las pérdidas singulares existentes en la red. En uno de los campos de esta tabla se relacionan las pérdidas con los tramos donde se producen: los *Elementos Tubería* (pág. 99) o los tramos asociados a los *Nodos Emisores* (pág. 95).
- Presión Conocida. Información de Nodos de Presión Conocida (pág. 86).
- Sin condición. Información de Nodos Libes (pág. ¡Error! Marcador no definido.).
- Válvulas. Información de Elementos Válvula (pág. 121).
- *Vis.* Información de los parámetros de visualización de la red: tamaño de mapa y parte visible de éste. Éstos parámetros son modificables en GESTAR mediante la opción Ver/ Escala (pág. 138).

En el anexo VII pág. 379, se describen brevemente los campos de cada una de las tablas.

Cualquier información de la base de datos puede ser modificada desde ACCESS, de manera que si se vuelve a introducir la información en GESTAR mediante la opción *Archivo/Importar/Base de datos ACCESS*, los cambios serán tenidos en cuenta.

Es importante recordar que si antes de exportar a formato ACCESS una red, ésta ha sido calculada (es decir, ha sido simulada hidráulicamente, obteniéndose unos resultados de presión, pérdida de carga, velocidad, caudal, etc.), los resultados de los cálculos también se almacenan en la base de datos. Estos datos se guardan en la tabla de *Nodos* o *Elementos* correspondiente en cada caso; de este modo, por ejemplo, el valor del caudal que atraviesa una conducción concreta quedará almacenado en la tabla *Tuberías*, en el campo *Caudal* y en la fila correspondiente al tramo en cuestión.

<u>RECOMENDACIONES DE EDICIÓN BASE DE DATOS DE LA RED PARA</u> <u>REDES EN PROCESO DE DIMENSIONADO</u>

Cuando el usuario edite la base de datos de una red colectiva, pendiente de dimensionado, exportada desde GESTAR, para cargar en dicha base de datos ACCESS las características de los hidrantes que alimenta, deberá completar una serie de campos y tener en cuenta una serie de recomendaciones. Así, deberán asignarse de forma **obligatoria** los valores en los campos que se especifican a continuación. De este modo, el usuario se asegura de que la importación (proceso explicado a continuación) de la base de datos concluirá con éxito y será coherente, al estar los parámetros necesarios completos, desde la aplicación ACCESS. El resto de datos se podrán rellenar de forma opcional, asignándose de forma automática valores por defecto desde GESTAR en caso de que aparezcan vacíos.

CAMPOS A RELLENAR DE FORMA OBLIGATORIA EN TABLA TUBERÍAS

Id (Identificativo alfanumérico no repetido)

Nodo Inicial

Nodo Final

Longitud (m)

CAMPOS A RELLENAR DE FORMA OBLIGATORIA EN TABLA CONSUMO CONOCIDO

Id (Identificativo alfanumérico no repetido)

X (coordenada X)

Y (coordenada Y)

Cota (m)

Dotación (m3/s)

CAMPOS A RELLENAR DE FORMA OBLIGATORIA EN TABLA NODO DE UNIÓN

Id (Identificativo alfanumérico no repetido)

X (coordenada X)

Y (coordenada Y)

Cota (m)

7.4.3 IMPORTAR LA RED DESDE UNA BASE DE DATOS ACCESS

Como ya se ha señalado, el comando *Archivo/ Importar/ Base de datos ACCESS* posibilita recuperar una red en formato de base de datos para visualizarla en el modo habitual de GESTAR. Toda la información y/o las modificaciones que desde ACCESS se hayan realizado en la topología, datos constructivos y condiciones de contorno, serán tenidas en cuenta a la hora de importar la red.

La información de esta base de datos habrá sido introducida de forma completa mediante transferencia de los datos contenidos en otro tipo de aplicación gráfica o de cálculo a partir de un fichero semilla utilizado con plantilla, o bien, provendrá de la actualización de la base de datos de una red GESTAR previamente. Los valores introducidos en los campos que hacen referencia a otras bases de datos auxiliares (*Materiales, Accesorios, Válvulas,...*) deberán estar definidos previamente en las respectivas bases de datos auxiliares

Si bien la base de datos podría incluir también los valores de las variables (consumo, altura piezométrica, caudal, velocidad, pérdida de carga) provenientes de una exportación previa, correspondientes al último cálculo hidráulico habido antes de la exportación de la red, tales resultados no son incorporados desde ACCESS en el proceso de importación.

La importación deberá iniciarse sin que exista una red abierta. Seleccionada la opción desde el menú *Archivo/ Importar/ Base de datos* ACCESS, se abre un cuadro de diálogo que permitirá la especificación del fichero de entrada *.mdb. Durante el proceso de importación, cuando un dato no supere la validación, desde GESTAR se lanzará un mensaje de aviso indicando la tabla y campo origen del error. Del mismo modo, según los criterios detallados en el apartado anterior, se verificará la coherencia entre los campos *Grado Libertad* y *Probabilidad*. Pulsando de forma continuada la tecla *Return* se aceptarán las advertencias de coherencia lanzadas por GESTAR.

Será necesario para finalizar con éxito la importación, asociar una *Base de Datos de Tuberías* a la nueva red. A continuación, quedará visible el gráfico de la red generado con la información de la base de datos, pero todavía se ha generado el fichero *.red. Se aconseja que de forma inmediata el usuario cree este archivo, mediante el menú *Archivo/ Guardar Red*, o bien a través del icono Ima de la barra de herramientas.

7.5 COMUNICACIÓN CON AUTOCAD

Una red de conducciones definida a través del programa de diseño asistido por ordenador AutoCAD, mediante *líneas* y *polilíneas* 2D y 3D, y *bloques* (que representarán un tipo de *Nodo* concreto, habitualmente hidrantes), puede ser convertida en un modelo equivalente en GESTAR, mediante la herramienta de **importación/exportación que comunica AutoCAD y GESTAR**.

Los ficheros a importar desde AutoCAD deben poseen su formato propio, de extensión *.dwg. A su vez, desde AutoCAD se facilita la edición de archivos de otras plataformas a través del formato *.dxf, lo que permite la importación de este tipo de archivos a GESTAR. Del mismo modo, es habitual que desde el entorno *GIS* (*Sistema de Información Geográfica*) se puedan exportar sus coberturas a formato .dxf, siendo posible tras ser convertidas en formato .*dwg, su migración a GESTAR.

De forma inversa, una red configurada en GESTAR se transfiere a formato *.dwg, generando un plano en el que quedan identificados hasta cuatro datos constructivos o hidráulicos de cada *Tubería* (p.e. *Material*, *Timbraje*, *Diámetro Nonimal* y longitud) y los datos de configuración de hidrantes (a seleccionar hasta un máximo de cuatro, por ejemplo, dotación, tamaño, presión de consigna y cota).

Para asegurar la operatividad de estas herramientas de comunicación, deberá hacerse uso de una versión de AutoCAD comprendida entre las versiones 2002 a 2008 inclusive, recomendándose el uso de la versión AutoCAD 2005.

En principio la aplicación funciona correctamente sobre las versiones de AutoCAD MAP equivalentes a las versiones de AutoCAD comprendidas entre la 2002 y la 2008. Debido a que no se ha trabajado de forma intensiva con AutoCAD MAP, en alguno de los casos podría dar algún resultado diferente del esperado.

7.5.1 REQUISITOS DEL DIBUJO A IMPORTAR DESDE AUTOCAD

Para el proceso de importación se realice con éxito, el dibujo en formato *.dwg debe cumplir una sintaxis precisa que a continuación se detallará.

En el directorio de instalación de GESTAR, dentro de la carpeta de Archivos *Worked Example*, se suministra un ejemplo (*Worked_example OK transfer to GESTAR*.dwg) para que sirva de guía. En la misma carpeta, se adjunta el archivo *Worked_example KO transfer to GESTAR*.dwg como ejemplo de una errónea configuración de la red, con problemas de conexión entre entidades, aunque, en apariencia, el dibujo semeje equivalente.

Si se trata de planos antiguos para los que su realización no se han seguido las reglas y criterios que se van a exponer, posiblemente resultará más eficaz redibujar los *Nodos* y *Tuberías* sobre el plano existente, respetando los siguientes condicionantes.

REQUISITOS OBLIGATORIOS

TUBERÍAS

- Cada tramo de conducción que sea susceptible de experimentar un cambio de diámetro, *Material* o *Timbraje* debe ser representado mediante una única entidad geométrica del tipo *línea, polilínea (2D) o polilínea 3D*. La secuencia de creación de la entidad se tendrá en consideración para la definición de la dirección del fluido por la *Tubería*.
- Las *líneas, polilíneas (2D) o polilíneas 3D* que representen *Tuberías se* encontrarán en capas reservadas exclusivamente para la representación de *Tuberías*. Cualquier otro ente lineal presente en dichas capas será interpretado como una *Tubería*.
- Las entidades geométricas empleadas para la definición de *Tuberías* no podrán formar parte de un *bloque* (herramienta de AutoCAD destinada al dibujo y gestión de objetos seriados). Si esto ocurriera, previo a la importación, mediante el menú de AutoCAD *Modificar /Descomponer* se deberá desensamblar la referencia a bloque en sus componentes.

NODOS

- Cada punto singular o componente que se quiera importar asimilándolo a algún tipo de *Nodo* GESTAR tendrá una representación gráfica en AutoCAD como *Bloque*. Cada *bloque* en AutoCAD que se desee asociar a un tipo de *Nodo* GESTAR (con características especiales o genéricas) tendrá un nombre determinado (arbitrario, pero el mismo para *Nodos* de igual tipo) y un punto de inserción que se hará coincidir con el punto inicial o final de alguna *línea, polilínea (2D) o polilínea 3D* que represente un tramo de *Tubería*. Estos *Bloques* asociados a *Nodos* en GESTAR podrán ubicarse en cualquier capa.
- Si los tipos de *Bloques* de AutoCAD que representan un tipo de *Nodo* son creados definiendo un *Atributo Identificador* asociado, este identificador se asignará como Id automáticamente al *Nodo* equivalente importado a GESTAR. Es indiferente que éste *Atributo Identificador* sea visible o no.



FIGURA 7.7 Ejemplo ilustrativo Transformación de bloques con atributo a nodos

CONECTIVIDAD TUBERÍAS Y NODOS

Debe garantizarse estrictamente la conexión de grafo de la red formado por líneas, polilíneas (2D) o polilíneas 3D, que representan tramos de Tuberías, y Bloques, que representan Nodos. Es decir, debe haber conectividad entre sí de todas las líneas, polilíneas 2D o polilíneas 3D, que representen tramos de Tuberías, (o a los puntos de inserción de los Bloques que representa Nodos) tanto en su puntos inicial como final. Todos los extremos deben estar conectados a otras Tuberías (p.e. bifurcaciones) o a Bloques (p.e. Bloques que representan hidrantes). Los extremos sin conexión Nodo (p.e. puntos de alimentación, extremos ciegos,..) serán tratados posteriormente como límites de la red asignándoles el usuario un tipo de Nodo por defecto en la ventana de configuración de la transformación.



ATENCIÓN: Los vértices intermedios de una polilínea NO son puntos iniciales o finales válidos ni puntos de inserción de Bloques que representen *Nodos*.

RECOMENDACIONES

- Para facilitar la garantía de conectividad se recomienda que durante el trazado de la red desde AutoCAD se establezcan los modos de referencia necesarios mediante el menú *Herramientas/Parámetros de dibujo/Referencia a objeto* para que los puntos de inserción del *Bloque* hidrante o extremo de polilínea (*Nodo* de *Unión* o significativo) coincida con el comienzo o final de la nueva la polilínea.
- En redes ramificadas alimentadas por un solo punto, se recomienda **que el sentido** de creación de las *Tuberías* coincida con el de circulación de la corriente.
- Se aconseja definir para todos los puntos que representen hidrantes un tipo de Bloque con Atributo identificador que tras la transformación pasará a ser el Identificativo del Nodo en GESTAR. En el directorio de instalación de GESTAR, dentro de la carpeta de Archivos Worked Example, se suministra un ejemplo (ejemplo Worked_example OK transfer to GESTAR.dwg) que contiene el Bloque HIDRANTE_ID que sirve como referencia y puede copiarse a nuevos planos.
- Se recomienda comenzar o terminar el dibujo de un tramo en puntos altos y bajos de un trazado para permitir cambios de *Timbraje*, ubicación de ventosas, desagües. Asimismo es recomendable terminar el dibujo de un tramo en puntos intermedios del trazado donde se desee que el modelo GESTAR suministre posteriormente un punto de control de presión.
- En el caso de que el plano a importar vaya a ser utilizado para un dimensionado óptimo de las *Tuberías* de redes ramificadas, se recomienda dibujar tramos de MENOS de 300 m de longitud, para permitir posteriormente en el módulo de

dimensionado de GESTAR un ajuste telescópico de diámetros en dicho punto intermedio.

- Cuando el plano a importar vaya a ser utilizado para un dimensionado óptimo de las *Tuberías* de redes ramificadas, NO es conveniente dibujar *Tuberías* o tramos de longitud menor de 20 metros. Tal es el caso de los pequeños ramales de conexión de los hidrantes con la red colectiva. Es preferible ubicar los puntos de inserción de los *Bloques* que representan a los hidrantes en los propios tramos de la red.
- ◆ Las bifurcaciones y otros puntos que sean Nodos de Unión o puntos singulares (cabeceras, etc.) no precisan ser definidos específicamente, ya que, en la etapa de transformación, estos Nodos quedan como extremos libres, que se transformarán a Nodos de Unión, automáticamente se importados, con Id asignados por GESTAR. De esta manera, bifurcaciones y Nodos de Unión intermedios en Tuberías, quedan directamente configurados, y aquellos Nodos especiales, que no sean Nodos de Unión, pueden convertirse posteriormente desde el entorno GESTAR en el tipo de Nodo adecuado.
- Generar la topología de las redes de *Tuberías* sin entrar en detalles constructivos locales tales como cuellos de cisne, conexión de tuberías e hidrantes, trazado de conexiones de la estación de bombeo, etc... que a efectos de dimensionado no son relevantes.
- Se aconseja el uso de coordenadas UTM para georreferenciar el modelo.

7.5.2 IMPORTACIÓN DESDE AUTOCAD

Una vez ejecutado el programa GESTAR, sin ninguna red abierta, el usuario accederá a la ventana de la FIGURA 7.8 a través del icono 😟 o bien mediante el menú *Archivo/ Importar/ Desde AutoCAD*.

🍯 AutoCAD> Gestar			
NODOS		ELEMENTOS	
Objetos a. C	Capas de Trabajo:	Objetos a	Capas de Trabajo:
Punto junction1 junction2 rfx_tuberial_IV-4_R03\$0\$1 HIDRAN HIDRAN_ID	0 TEXT-PR GRAF-PR O-numeración PUNTODES DESAGUE K tuberial IV-4 R03\$0\$R0M	Línea Polilínea 2D Polilínea 3D	0 TEXT-PR GRAF-PR O-numeración PUNTODES
Dotación (m3/s) 0,0	1 Tolerancia 1	Transformar extremos lik	ores en Nodo de Unión 🔹
Superficie (Ha) 1 Presión de consigna (m) 38	Nodo de unión 🔹	Diámetro interior (mm) 6	3 Eliminar objetos originales
Diámetro j2	Transformar >	Rugosidad 0	,00005 Transformar >
DISTRIBUCION ASPERSOF	RES		
Capa Secundarias:	Capa Primarias:	Capa Sectores:	Comprobar
0 TEXT-PR GRAF-PR 0-numeración PUNTODES DESAGUE	O TEXT-PR GRAF-PR Onumeración PUNTODES DESAGUE	O TEXT-PR GRAF-PR O-numeración PUNTODES DESAGUE	 etiquetas
Ayuda Crear Re	ed Salir 0%		100%

FIGURA 7.8 Importar Red desde AutoCAD.

Previamente, ha de abrirse el dibujo que se pretende asociar desde Autocad en formato *.dwg. El dibujo deberá encontrarse en la ventana gráfica activa de AutoCAD durante la importación para que la captura desde GESTAR se realice de forma correcta. Además, durante la confección del de la red en AutoCAD habrán tenido que seguirse las instrucciones detalladas en el apartado 7.5.1 REQUISITOS DEL DIBUJO A IMPORTAR DESDE AUTOCAD. Cumplidos estos condicionantes, será necesario respetar la siguiente secuencia (FIGURA 7.9) durante el proceso de importación para que éste sea finalizado con éxito.



FIGURA 7.9 Pasos Uso ventana de Importación desde AutoCAD 🔢

Respecto al proceso de importación desde AutoCAD llevado a cabo durante el diseño de redes en parcela, se puede consultar el capítulo (todavía no incluido en esta versión del manual) donde se detallan las peculiaridades de uso de la herramienta para este tipo de diseños.

TRANSFORMAR NODOS

El primer paso consistirá en la captura de las entidades del dibujo AutoCAD que vayan a convertirse a *Nodos* generados a partir del dibujo en formato *.dwg. Los diferentes **tipos de nodos** (*Consumo Conocido*, de *Unión*, etc.) se crearán por transformaciones sucesivas teniendo en cuenta los parámetros que a continuación se detallan. Así, el usuario podrá **encadenar las transformaciones** de los diferentes tipos de *Nodos* modificando estas variables, acumulándose progresivamente los resultados de las transformaciones para la generación de la nueva red.

- ♦ Objetos a Transformar. GESTAR permite la transformación a Elementos nodo objetos de AutoCAD tipo Bloque y tipo Punto. Cuando el usuario abra la ventana de la FIGURA 7.8, GESTAR habrá capturado la colección de Puntos y Bloques del dibujo de AutoCAD abierto y activo, presentándola en forma de lista desplegable en el primer cuadrante. El usuario seleccionará en esta lista el tipo de objetos que quiere transformar a Nodo, pudiendo elegir tantos como desee. La propiedad geométrica de elevación de cada objeto a transformar será capturada y asociada al Nodo generado en GESTAR.
- Capas de Trabajo. La aplicación permite restringir las capas que formarán parte del proceso de selección de los objetos a transformar. Desde este segundo cuadrante se pueden seleccionar una o varias capas, y en el caso de no seleccionar ninguna (opción por defecto), no se tendrá en cuenta ningún tipo de filtro por capa, siendo equivalente a seleccionar todas las capas.
- Tipo de Nodo. En la lista desplegable donde aparecen los tipos de Nodos definidos en GESTAR (Nodos de Unión, Embalse, Balsa, Nodo de Presión Conocida, Nodo de Consumo Conocido, Hidrante Regulador, Nodo Libre y Nodo Doble Condición) se debe elegir el tipo de Nodo que se pretende crear, debiendo señalar posteriormente en el plano asociado de AutoCAD la ventana gráfica de búsqueda que será objeto de la transformación. Cuando el objeto que se va a transformar tenga Atributo Identificador asociado, éste pasará a ser el identificativos Id de la red de GESTAR. En caso contrario, se le asignará un identificativo por defecto, formado por el sufijo definido según el tipo de Nodo (UN; EMB, BAL, PRG, CC, HID, SCN, DCN) seguido por un número correlativo.
- Variables por Defecto. A continuación, se recogen en el cuadro de diálogo una serie de variables que podrán ser definidas por el usuario y que el programa GESTAR asignará a los Nodos creados en el caso de que éstos sean del tipo de Consumo Conocido o Hidrante Regulador. Estos datos de partida a asignar por defecto a todos los Nodos del tipo descrito, son los siguientes: dotación (m³/s), superficie (ha), presión de consigna (m.c.a.) y diámetro del hidrante (pulgadas). Si existe una adecuada discriminación de tipos de Bloques y/o capas según las características del Nodo, es posible realizar sucesivas transformaciones selectivas con distintos valores por defecto de estas variables, de manera que los datos dados por defecto

correspondan a los valores reales. No obstante, si la red a importar se encuentra en los primeros estadíos de diseño y los datos de los hidrantes son susceptibles de modificarse, resulta más recomendable generar los *Nodos* del mismo tipo con un mismo tipo de *Bloque*, con valores por defecto arbitrarios, y actualizar dichos valores posteriormente mediante las herramientas de importación de base de datos (ver apartado 7.4 COMUNICACIÓN CON BASES DE DATOS ACCESS pág. 188).

 Tolerancia. Cuando se transforma un objeto de AutoCAD en un Nodo de la red de GESTAR, se comprueba que dicho Nodo no haya sido creado en transformaciones anteriores. La verificación consiste en la comparación de las coordenadas X, Y, Z del Nodo existente con las del objeto a transformar.



FIGURA 7.10 Verificación Coordenadas X,Y,Z en nodos

Si la diferencia entre cada una de las tres coordenadas está por debajo del valor de Tolerancia marcado en el cuadro de diálogo (FIGURA 7.8), la aplicación considerará que se trata del mismo objeto, no creando un nuevo Nodo, sino manteniendo el único Nodo ya generado. Este recurso es de utilidad para facilitar la conectividad de tramos y bloques del grafo de la red, de manera que sean superados de forma autómática pequeños errores de delineación, en que el uso de la opción Referencia a Objetos (ver pág. 198) no haya sido suficiente para enlazar los objetos en los puntos de inserción y extremos de líneas y polilíneas. Así, todos los extremos y puntos de inserción que se encuentren dentro de la tolerancia serán considerados un mismo Nodo. Es necesario ajustar adecuadamente este parámetro puesto que un valor muy reducido no tendrá el efecto de conexionado buscado, y un valor excesivo, unificará Nodos que en principio son distintos. Se recomienda que la tolerancia sea inferior a la longitud de la Tubería más corta del plano. Hay que vigilar en especial los pequeños tramos de conexión entre red e hidrantes, en ocasiones de longitud muy reducida, aconsejándose suprimir dichos tramos e insertar el Bloque que representa el hidrante directamente sobre la conducción de

la red. En caso de que los nodos extremos de un elemento sean unificados en uno solo por el criterio de *Tolerancia*, el elemento en cuestión no será creado.

- Comprobar Etiquetas. Si se selecciona esta opción, durante el proceso de transformación será revisado si el Identificativos asignado por GESTAR está siendo ya utilizado por otro Nodo o no. Esta función incrementa notablemente el tiempo de ejecución de la transformación, por lo que al deseleccionarla se acelerará el proceso de importación.
- ◆ Transformar. Una vez determinados los parámetros anteriormente explicados, deberá pulsarse botón Transformar para iniciar el proceso de acceso a Autocad e identificación de los Elementos a transformar. Automáticamente, aparecerá el dibujo abierto y activo de AutoCAD desde donde se solicita que el usuario Seleccione los Objetos a Transformar enmarcándolos en una ventana de designación. Realice la designación mediante una selección rectangular, que comienza haciendo click con el botón principal, en el extremo superior izquierdo de la zona a transformar. Cuando este rectángulo cubra la zona deseada, un nuevo click con el botón principal concluirá la lectura de objetos de Autocad, y se desencadena el proceso de conversión. Al acceder de nuevo a la ventana de la FIGURA 7.8, se obtiene información del avance del proceso mediante el cursor de la parte inferior derecha. Cuando se registre el mensaje Transformación Elementos Terminada, podrá realizarse un nuevo evento necesario para la consecución de la generación de la red (una nueva transformación de Nodos o bien transformaciones de Elementos).



FIGURA 7.11 Selección de los objetos a Transformar desde AutoCAD

TRANSFORMAR ELEMENTOS

- ♦ Objetos a Transformar. La aplicación permite transformar objetos de AutoCAD tipo Línea, Polilínea (2D) y Polilínea 3D en Elementos tipo Tubería . Desde el cuadrante ELEMENTOS del cuadro de diálogo de la FIGURA 7.8, el usuario podrá seleccionar varios tipos de objeto para transformar simultáneamente. En el caso de que se transformen entidades del tipo Polilínea 3D, las cotas de los vértices extremos serán capturadas automáticamente. Cuando en el vértice exista un Nodo transformado, prevalecerá la elevación asociada a éste en la transformación de Nodos a la cota de la Polilínea 3D. Las longitudes que se importan para las Tuberías se corresponden con las de las Línea, Polilínea (2D) y Polilínea 3D.
- Capas de Trabajo. Al igual que para los Nodos, GESTAR permite filtrar las capas que el usuario desea formen parte de la transformación. Se puede seleccionar una o varias capas, que serán las que se tendrán en cuenta por el programa, y en el caso de no seleccionar ninguna (tal y como aparece por defecto), no se tendrá en cuenta ningún tipo de filtro por capa. Es muy importante que las capas seleccionadas todos los tipos de línea que existan dentro del recuadro de selección correspondan realmente a conducciones, y no a otro tipo de trazo.

- Transformar Extremos Libres en. A través de esta lista desplegable, donde aparecen los tipos de Nodos definidos en GESTAR (Nodos de Uunión, Embalse, Balsa, Nodo de Presión Conocida, Nodo de Consumo Conocido, Hidrante Regulador, Nodo Libre y Nodo con Doble Condición), se debe elegir el tipo de Nodo que se creará en los extremos de las líneas o polilíneas transformadas cuando sus extremos no coincidan con los pintos de inserción de Bloques o Puntos ya transformados previamente a través del Panel Nodos.
- ♦ Variables por Defecto. Se pueden establecer dos variables que GESTAR asignará a las Tuberías creadas, tal y como se contempla en FIGURA 7.8, el valor del Diámetro Interior (mm) y el de Rugosidad.
- Transformar. El proceso de transformación de Línea, Polilínea (2D) y Polilínea 3D en Elementos tipo Tubería se desencadena y maneja de forma semejante a la transformación de Nodos Cuando se registre el mensaje Transformación Elementos Terminada, podrá realizarse un nuevo evento necesario para la consecución de la generación de la red (una nueva transformación de Nodos o bien transformaciones de Elementos). Debe tener presente que una nueva transformación de Elementos ya transformados duplicará las Tuberías en la red importada.

El valor de tolerancia asignado en el Panel Nodos controla también la transformación de las Tuberías. Así, si la diferencia de coordenadas de un vértice extremo y otro Nodo están más próximos del valor marcado por la Tolerancia, GESTAR generará un único Nodo en su lugar. Se aconseja al usuario analizar la proximidad en plano AutoCAD de los diferentes hidrantes y Nodos de Unión previo a la determinación del valor de tolerancia. También será de vital importancia la correcta delineación de la red desde AutoCAD, recomendando la activación del Modo de Referencia a Objetos (comando REFENT), para enlazar los tramos y objetos de forma correcta, evitando problemas de conectividad, ya que si estuvieran por encima del valor de Tolerancia generarán duplicidad de Nodos en la red. En el caso de planos que combinen Líneas, Polilineas, Polilineas 3D y Bloques, puede aparecer vértices extremos coincidentes en planta, pero no en cota, por lo que los objetos no estarán conectados. Puesto la comprobación del criterio de tolerancia se hace en las tres coordenadas, ello inducirá en el modelo GESTAR Nodos independiente superpuestos, con diferente cota, y tramos aislados de la red.

CREAR RED

Finalizada la secuencia de transformaciones, será necesario pulsar al botón *Crear Red* (FIGURA 7.8) para que el proceso de importación finalice, solicitándose la denominación y ubicación de la nueva red para que ésta sea guardada en formato *.red.

Una vez cread la red esta **no se abre automáticamente**. Para abrir la red, verificar el resultado de la transformación y continuar con el trabajo, se procede de forma habitual, y puesto que la red creada no tiene todavía habilitada una asociación a *s*, *Base de Datos de Tubería* se solicitará que se asocie una *Base de Datos de Tubería*, tras lo cual, la red podrá ser editada normalmente desde GESTAR.

7.5.3 EXPORTAR RED A AUTOCAD

Cuando desde el programa GESTAR se encuentre una red abierta, mediante el icono icono , se accede a un nuevo cuadro de diálogo (FIGURA 7.13). Esta herramienta permite generar el dibujo de la red en AutoCAD de manera automática con la información que se considere oportuna acerca de los *Nodos* y *Ttuberías* que la conforman. Será conveniente previo a la exportación, abrir el programa de AutoCAD con un dibujo en blanco, donde GESTAR verterá la topología de la red con las variables requeridas por el usuario.

La red se dibuja en AutoCAD utilizando una serie símbolos predefinidos (FIGURA 7.12) para representar los distintos tipos de *Nodos* y *Elementos*. Se encuentran almacenados en el directorio de instalación, en la carpeta *Símbolos*. Cada icono corresponde a un archivo *.dwg, lo que permite que sea editado desde AutoCAD y modificado a conveniencia, teniendo en cuenta que será el origen de coordenadas (0, 0, 0) el punto de referencia para la inserción de los símbolos en el nuevo plano exportado desde GESTAR.



FIGURA 7.12. Representación en AutoCAD de nodos y elementos

vodos ₹ 1	Etiqueta	- F 2	Dotación 🗨
7 3	Superficie	· 🔽 4	Presión Consigna 🛛 👻
Texto			Escala
Estilo	Texto Standard	-	Automática · 394
Altura	Texto 10 Precisión	n 2 💌	C Manual
— Mo: apa	strar información en tuberías artir de una longitud mínima	<u> </u>	Iamaño del texto proporcina la longitud de la tubería Iamaño máximo de texto 20 Tubería
- Mo: apa	strar información en tuberías artir de una longitud mínima Ident.		Tamaño del texto proporcina la longitud de la tubería Tamaño máximo de texto 20 Estilo Texto Standard
- Mos apa ▼ 1 ▼ 2	strar información en tuberías artir de una longitud mínima Ident. DN		Tamaño del texto proporcina la longitud de la tubería Tamaño máximo de texto 20 Estilo Texto Standard Politubos
Mo: apa ▼ 1 ▼ 2 ▼ 3	strar información en tuberías artir de una longitud mínima Ident. DN Material		Tamaño del texto proporcina la longitud de la tubería famaño máximo de texto 20 Estilo Texto Standard Politubos Texto en el tramo más largo
- Mos apa ▼ 1 ▼ 2 ▼ 3 ▼ 4	strar información en tuberías artir de una longitud mínima Ident. DN Material Timbraje		Tamaño del texto proporcina la longitud de la tubería Tamaño máximo de texto 20 Estilo Texto Standard Politubos Texto en el tramo más largo Texto en el tramo central
Mos api ▼ 1 ▼ 2 ▼ 3 ▼ 4	strar información en tuberías artir de una longitud mínima Ident. DN Material Timbraje Ayuda	Image: specific state Image: specific state	Tamaño del texto proporcina Ia longitud de la tubería Tamaño máximo de texto [20 Stailo Texto Standard Politubos Texto en el tramo más largo Texto en el tramo central Cancelar

FIGURA 7.13 Exportar red desde AutoCAD

<u>NODOS</u>

En el nuevo plano de la red de formato *.dwg, se representarán los *Nodos* como entidades de *Bloque* con el aspecto detallado en la FIGURA 7.12, y la elevación contenida en la casilla *Cota* en GESTAR. Se creará una capa por cada tipo de *Nodo*. Junto al *Nodo* aparecerá una tabla con cuatro cuadrantes (ver FIGURA 7.14). Estas nuevas entidades de dibujo quedarán asociadas a la *capa InfoNodos*. Para cada *Nodo* se crearán dos *líneas* que delimitan el cuadrante y *objetos de texto* (tantos como casillas activas) que contendrán cada una de las informaciones asociadas al *Nodo* elegidas por el usuario a través de la ventana de la FIGURA 7.13. Éste deberá marcar la casilla de verificación correspondiente para los cuadrantes que quiera aparezca la información, y a través del la lista desplegable seleccionará la variable elegida para el cuadrante en cuestión entre los datos siguientes: *Etiqueta, Cota, Diámetro, Dotación, Demanda, Área Regada, Probabilidad, Presión de Consigna y Comentario*. Por defecto aparecerán los valores de *Etiqueta, Dotación, Área Regada y Presión de Consigna* en los cuadrantes 1, 2, 3 y 4 respectivamente.



FIGURA 7.14 Apariencia Información Nodos en dibujo*.dwg

Además, se podrán modificar los siguientes parámetros referentes al aspecto:

- *Estilo de Texto*. El usuario puede elegir el *estilo* que se asociará a los *objetos de texto* de entre los definidos en el dibujo de AutoCAD abierto.
- *Altura de Texto*. Valor que habitualmente deberá ajustarse.
- *Precisión.* Permite escoger la precisión numérica con la que solicita aparezcan los datos (pudiendo elegir entre 0 y 4 decimales).
- *Escala*. En función del tamaño de la red habrá que aplicar un factor de escala a la hora de dibujar los iconos de los *Nodos*. Este factor de escala aparece automáticamente en la ventana de exportación (FIGURA 7.13). No obstante, el usuario puede establecer de forma manual el valor de escala que considere conveniente.

TUBERÍAS Y LÍNEAS DE EMISORES

Las *Tuberías* quedarán representadas en el nuevo dibujo *.dwg mediante *Polilíneas 3D*, cuyos vértices tendrán una elevación coincidente con las cotas asignadas en los *Nodos*. Cuando se trate de politubos, la elevación de los vértices intermedios será interpolada en función de la longitud de cada uno de los tramos.

La información asociada a las *Tuberías* aparecerá inclinada, alineada en la misma dirección que la Tubería, como un *Objeto de Texto* en una única línea. Marcando la casilla de verificación correspondiente (1, 2, 3, ó 4) en el cuadrante *Tuberías* (FIGURA 7.13), el usuario selecciona las variables que desea exportar y su ordenación. Mediante las listas desplegable junto a cada una de ellas elegirá entre los siguientes parámetros: *Identificador, Longitud, Diámetro, Rugosidad, Material, Timbraje, Caudal, Velocidad, Pérdida de Carga, Pérdida de Carga/Longitud, Comentario, Caudal de Línea, Celeridad, Diámetro Nominal.* Por defecto aparecen las cuatro posiciones seleccionadas, con los siguientes valores: *Identificador, Diámetro Nominal, Material, Timbraje.*

En una red es común tener *Tuberías* de longitudes bastante dispares. Desde GESTAR se implementan opciones para mejorar la visualización de la información:

- *Mostrar información en tuberías a partir de una longitud mínima*. Activando esta opción, aparecerá la información asociada a Tuberías con una longitud mayor a la definida en la casilla adjunta.
- **Tamaño del texto proporcional a la longitud de la tubería**. Al seleccionar esta opción, el tamaño del texto variará en función de la longitud de la tubería hasta un *Tamaño máximo de texto* fijado en la casilla correspondiente.



FIGURA 7.15 Información elementos en dibujo*.dwg (texto proporcional a la longitud de la tubería)

- *Politubos.* En el caso de que existan tuberías formadas por varios tramos con distintas orientaciones, el usuario podrá elegir entre presentar el texto asociado centrado y alineado respecto al tramo más largo del politubo, o bien respecto al tramo central del politubo.
- *Estilo de Texto* El usuario puede elegir el *Estilo* que se asociará a los *objetos de texto* de entre los definidos en el dibujo de AutoCAD abierto.

7.6 UNIR REDES

Mediante el menú *Archivo /Unir redes,* se permite crear una red de GESTAR partiendo de otras dos ya existentes. Las redes a unir deberán haber sido guardadas previamente. Cuando sea lanzado el comando, no debe haber ninguna red abierta. A continuación, se deberán especificar las rutas de los dos ficheros de redes a unir (FIGURA 7.16).

 patritoño proyectos en sostenibilida gestar Manual GESTAR revision11julio08 Worked example 		spersor.red urva_bomba.i d1.red /orked_exan /orked_exan /orked_exan /orked_exan	red pple_ste pple_ste pple_ste pple_ste
\Users\patritoño\proyectos en :	sostenibili	dad\gestar\h	/lanual GE:
\Users\patritoño\proyectos en : - IUTA DE LA SEGUNDA RED A	sostenibili	dad\gestar\h	1anual GE:
\Users\patritoño\proyectos en : 	sostenibili	dad\gestar\} spersor.red urva_bomba. d1.red (orked_even	fanual GE:
NUsers/patritoño/proyectos en : 	Sostenibili	dad\gestar\h spersor.red urva_bomba. d1.red forked_exan forked_exan forked_exan	red ple_ste ple_ste
NUsers/patritoño/proyectos en s AUTA DE LA SEGUNDA RED 4 A patritoño a proyectos en sostenibilida a gestar a Manual GESTAR a revision11julio08 Worked example c: [OS]		dad\gestar\h spersor.red urva_bomba. d1.red orked_exan orked_exan orked_exan orked_exan orked_exan orked_exan	red red rel_ste rple_ste rple_ste rple_ste rple_ste rple_ste

FIGURA 7.16 Especificación ruta Redes a Unir.

Ambas redes deberán coincidir en la definición de los parámetros referentes al fluido y al cálculo para evitar confusiones durante el proceso de unión (ver *Menú: Cálculos/ Características*, pág. 164). Si no fuera así, serán tomados los parámetros asignados a la **primera** de las dos redes seleccionadas desde la ventana de la FIGURA 7.16 (cuadrante *Ruta de la Primera Red A Unir*). Del mismo modo, si cada una de las redes tuviera asociada una *Base de Datos de Tuberías* diferente (ver pág. 322), será asignará a la red resultante *la Base de Datos de Tubería* la **primera** de las redes seleccionada.

Tras seleccionar las rutas de las dos redes a unir, se ofrece la posibilidad (FIGURA 7.17) de determinar una cadena de texto (hasta un máximo de 5 caracteres) para cada una de las dos redes iniciales, de modo que las etiquetas de los componentes de la red resultante quedarán precedidas por la cadena correspondiente a su red de origen. Tenga presente que la máxima longitud total de los *Id* resultantes es de 15 caracteres (si tras la unión se superase este valor, el *identificativo* quedará construido por el nuevo prefijo y los caracteres del identificativo de la red a unir necesarios hasta alcanzar los 15 caracteres, perdiéndose el resto).

Los valores del origen de coordenadas del mapa que contendrá la red resultante coincidirán con los **valores X e Y** de los orígenes de coordenadas de las dos redes a unir **más próximos** a los valores **0,0**, consiguiendo así que todos los *Nodos* y *Elementos* de ambas redes queden visibles desde el entorno gráfico GESTAR.

Además, desde la misma ventana de la FIGURA 7.17, el usuario podrá modificar la posición de los nodos y elementos de una o ambas redes, afectándose las coordenadas X e/o Y de todos los componentes de la red de origen con el valor, positivo o negativo, asignado en las casillas habilitadas para el *Desplazamiento* de esa red.

Prefijos para los identificadores de las Redes de origen	📋 Desplazamientos para las Redes de origen
Introduzca el texto que precederá a las etiquetas de los componentes de las redes a unir (4 caracteres como máximo) <u>Prefijo para Etiquetas de Red 1:</u> aspersor.red	Desplazamiento para la Red 1: X1 Y1 Desplazamiento para la Red 2
Prefijo para Etiquetas de Red 2: red1.red	X2 Y2 Y2
*	

FIGURA 7.17 Cuadro de diálogo Texto para etiquetas

Una vez especificada la ruta donde se guardará el fichero resultante, un mensaje similar al de la FIGURA 7.18 informará de la creación del fichero de la nueva red y de las posibles incidencias relativas a la existencia de *Nodos* o *Elementos* en ambas redes a unir con idéntico ID. Esta duplicación de ID en la red resultante es incompatible con el funcionamiento de la aplicación, por lo que deberá cancelarse el proceso, salvo que los nodos con ID duplicado posean idénticas coordenadas, en cuyo caso se interpreta que ambos nodos son el mismo, identificándose en la red resultante en un mismo *Nodo* común

🛎 Análisis de la red resulta	nte 🗖 🗖 🔀
Existen 9 nodos y 21 tuberías en ambas redes con el mismo identificador.	De los cuales, son realmente el mismo nodo: 0.
2 3 4 5 6 7 NU1 NU2	
Hay nodos distintos con el mism identificador. Esta situación pue un funcionamiento incorrecto en momento de la simulación.Dese con la unión de redes o cancela	no de ocasionar algún ea continuar r el proceso: Cancelar

FIGURA 7.18 Cuadro de diálogo Análisis de la red resultante

La red resultante habrá quedado almacenada en la ruta especificada, disponible para su edición desde GESTAR según el procedimiento habitual.

7.7 SALIDA DE RESULTADOS

Una vez ejecutados los cálculos asociados a la red, los resultados obtenidos serán accesibles de distintas formas, las cuales se describen a continuación:

- *Codificación por Colores* de las magnitudes de la red: Siempre que existan resultados fruto de un cálculo la visualización de la red se mostrará esta opción con código de colores configurable por el usuario (pág. 212).
- Tabla de *Valores Numéricos* de las magnitudes de un escenario: Aparece en pantalla dos tablas numéricas completas, una para *Nodos* y otras para *Elementos*, ordenadas, según el criterio del usuario, de las magnitudes hidráulicas más destacadas del escenario cuyos resultados se visualizan en pantalla (pág. 215).
- *Exportación* a fichero EXCEL o ASCII de la tabla de Valores Numéricos de las magnitudes de un escenario: Se genera un fichero EXCEL o ASCII con una réplica de la Tabla de Valores Numéricos de un escenario (pág. 220).
- *Visualización de Valores Numéricos* de magnitudes sobre toda la red: Aparece el valor de una magnitud seleccionada desde la *Barra de Herramientas* junto a cada *Nodo* y/o *Elemento* (pág. 220).
- *Listado Emergente de Valores Numéricos* de las magnitudes de un componente de la red: Consiste en un menú emergente de los parámetros más relevantes y variables calculadas de un *Nodo* o *Elemento* al pulsar con el botón secundario del ratón sobre el mismo (pág. 221).
- *Exportación* del escenario a ACCESS: Se crea un fichero *.mdb que incorpora todos los parámetros de configuración de un escenario individual y sus respectivas variables calculadas (ver apartado 7.4 COMUNICACIÓN CON BASES DE DATOS ACCESS, pág. 188).
- Tablas de Evolución Temporal: Representación tabulada de la variación de las magnitudes hidráulicas y energéticas a lo largo del tiempo en simulaciones temporales (ver apartado 9.5.3 ANÁLISIS DE ESCENARIOS DETERMINISTAS CON EVOLUCIÓN TEMPORAL, pág. 292).
- *Gráficos de Evolución Temporal*: Representación gráfica de la variación de las magnitudes hidráulicas y energéticas a lo largo del tiempo en simulaciones temporales (ver apartado 9.5.3 ANÁLISIS DE ESCENARIOS DETERMINISTAS CON EVOLUCIÓN TEMPORAL, pág. 292).
- *Visualización de Informes*: Generación de informes sintéticos con datos seleccionados que pueden ser guardados en diversos formatos. Se dispone de dos tipos de informe:
 - Informe De Alarmas (ver Menú: Alarmas/ Informe de Alarmas, pág. 173).
 - Informe De Red (ver Menú: Opciones/ Informe de red, pág. 149).

- Resultados en formato EXCEL: Algunos procesos implementados en GESTAR generan hojas de cálculo con extensión ".xls" (pág.). De este modo, se permite que la información recogida pueda ser explotada y manipulada con las herramientas de cálculo y gráficos que posee la aplicación EXCEL. Se podrán obtener este tipo de documentos en las siguientes casuísticas:
 - Tabla de Valores Numéricos de las magnitudes de un escenario.
 - Obtención de la Curva de Consigna. (pág. 312).
 - Cálculo de la Función de Probabilidad del caudal bombeado (pág. 312).
 - Cómputo de Prestaciones de la Estación de Bombeo (pág. 314).
- *Resultados* en formato de almacenamiento *PDF*: Finalizado el proceso de *Optimización* de la red (explicación del proceso en pág. 240), se crea un documento, susceptible de ser impreso, con información acerca de:
 - Los *Datos de Entrada* en la optimización: los criterios generales, así como valores referentes a Nodos, *Tuberías* y *Material*.
 - Resultados obtenidos detallados para cada tramo: *Diámetro Nonimal*, Longitud (m), Velocidad (m/s), Coste (€), Presión estática (m.c.a.) y Presión dinámica (m.c.a).
 - Desglose económico de las *Tuberías*.

Las opciones Visualización de Valores Numéricos, Listado de Valores Numéricos, Exportación del escenario a ACCESS e Informe de Red, pueden invocarse en todo momento, aunque no existan resultados calculados para las variables desconocidas, mostrándose en ese caso exclusivamente los parámetros que hayan sido definidos.

7.7.1 CODIFICACIÓN POR COLORES

Como opción por defecto, e inmediatamente después de calcular, en la ventana del mapa de la red aparecerá, para cada *Nodo*, un círculo cuyo color indicará el intervalo de valores entre los que se localiza el valor de la magnitud seleccionada. El tamaño de este círculo se seleccionará en el menú *Opciones/ Preferencias* en el apartado *Visualización*. Análogamente, los *Elementos* estarán trazados con una línea del color que corresponda al valor obtenido, y cuyo grosor será el especificado en el mismo menú *Opciones / Preferencias* / pestaña *Visualización*.

Para cambiar las magnitudes a visualizar, los límites de los intervalos numéricos asociados a cada color, el método en que éstos se asignan e incluso los colores con que se representarán, hay que acudir al menú *Resultados/ Código de Colores*, o bien pulsar el botón *Código de Colores* (E)) de la *Barra de Herramientas*. Se obtendrá la ventana mostrada en la FIGURA 7.19.



FIGURA 7.19 Código de Colores.

En esta ventana se pueden distinguir dos partes completamente independientes: la mitad izquierda, para especificar la codificación de colores de los *Nodos*, y la mitad derecha para los *Elementos*. Ambas partes constan de, una lista de magnitudes que pueden ser visualizadas en el *Mapa* de la red, un botón *Mostrar*, para que aparezcan las leyendas, el tipo de selección de intervalos (auto o manual), seis cajas de texto donde indicar los extremos de los intervalos para cada color, y cinco rectángulos de color.

En el caso de los *Nodos*, las únicas magnitudes que pueden ser representadas mediante colores en esta versión son: *Consumo*, *Altura Piezométrica*, *Presión* y *Cota*; para los *Elementos*, se podrá representar *Caudal*, *Velocidad*, *Pérdida de Carga* y *Diámetro Interior*. Seleccionando cualquiera de estas opciones en la lista de magnitudes, se representará automáticamente la elegida.

Por defecto, la generación de los límites de los intervalos es automática, es decir, entre los valores mínimo y máximo encontrados para la magnitud seleccionada en el escenario calculado se crean cinco intervalos idénticos. En la generación automática de intervalos los nodos cuyo *Consumo*, *Altura Piezométrica* o *Presión* sea negativo o nulo se representarán con color gris oscuro para ayudar a su detección y, en el caso del *Consumo*, los valores negativos se excluyen en la definición de intervalos.

De esta manera se evita el que los importantes valores negativos de consumo siempre presentes y asociados a los puntos de alimentación de la red, condicionen la generación de intervalos. Análogamente, los *Elementos* descargados, es decir, aquéllos cuyo *Caudal, Velocidad* o *Pérdida de Carga* sea nula, también serán representados con color gris.

Si la selección es *manual*, opción que se activa pulsando en la respectiva casilla de la FIGURA 7.19, el usuario establece los seis valores numéricos cualesquiera, en orden creciente, el menor arriba y el mayor abajo, que suponen los límites convenientes de los intervalos, escribiéndolos en las casillas correspondientes. Asimismo puede establecer el color asociado a cada intervalo, eligiéndolo de la paleta de colores (FIGURA 6.9, pág. 141) que se despliega mediante un doble "clic" sobre la casilla que contiene el color a modificar. Una vez realizados los cambios, pulse el botón *Aceptar* para que estos sean operativos. GESTAR comprobará que la secuencia de intervalos es correcta, dando aviso en caso contrario.

Mediante la configuración manual, **se representan sólo las variables en un cierto rango deseado** (no se colorearan aquellos *Nodos* o *Elementos* cuyo valor de la variable seleccionada esté fuera de todos los intervalos) **con el color que se asigne**. Como ejemplo de esta utilidad, podemos mencionar que supone una ayuda en la localización de los ramales de una red por los que el fluido circula a una velocidad excesiva. Como la velocidad deseable se sitúa alrededor de 1 m/s, se podría visualizar la magnitud *Velocidad*, adoptar la selección de intervalos manual y escribir los seis extremos de los intervalos desde 1,5 hasta el máximo. De esta forma, no se mostrarán los *Elementos* cuya velocidad fuese inferior a 1,5 m/s (quedarían del mismo color que el fondo de la pantalla, es decir, invisibles), con lo que sólo se representarían las zonas de la red con altas velocidades. Análogamente, se podría hacer para detectar fácilmente los *Elementos* con bajas velocidades.

El tipo de definición de intervalos (*manual* o *automático*), los extremos de éstos, y los cinco colores con que serán representados los rangos, se asocian a cada magnitud de forma independiente y se guardan con la red, de tal forma que cuando se vuelva a abrir perdurarán los colores e intervalos, lo que permite mantener la configuración óptima para la presentación.



FIGURA 7.20 Leyenda

El botón 🔀 cierra esta ventana, las de leyendas de *Nodos* y *Elementos* y elimina codificación de colores y los resultados del cálculo configurándose el Mapa de la red una nueva fase de edición de datos.

Los botones de *Mostrar* sirven para desplegar unas pequeñas ventanas flotantes (FIGURA 7.20) que se pueden ubicar en cualquier parte de la pantalla y que reflejan los rangos de los colores asociados a la magnitud que se representa en el *Mapa*. Estas ventanas se actualizan automáticamente al cambiar de magnitud a visualizar, con el *Código de colores*, o al aceptar algún cambio.

Para terminar con la descripción de la FIGURA 7.19, explicaremos que las casillas que hay en la parte inferior de la ventana, casillas *Máx., Med. y Mín.*, sirven para tratar con los resultados máximos, medios o mínimos, respectivamente, de los valores de cada *Nodo* o *Elemento* sacados de entre todos los escenarios válidos (no promedian los casos críticos) calculados en un *Escenario Múltiple*. Así pues, después de realizar un *Escenario Múltiple*, se activa la ventana *Resultados* (FIGURA 7.22) y

dependiendo de la opción elegida, podremos ver los valores numéricos de todas estas opciones. Observaremos también, que los rangos de nuestra ventana *Código de Colores* y por tanto los de las ventanas *Leyendas*, también cambiarán, ya que la creación de los cinco intervalos se realiza a partir de resultados diferentes, osea de entre todos los máximos, los mínimos o los medios, según corresponda, de los valores de las variables. Otro recurso que nos da esta opción es el de ir viendo a la vez todos estos cambios que se dan, tanto en la ventana *Resultados*, como en la de *Código de Colores*, reflejados en el *Mapa gráfico*.

Si en la ventana *Alarmas* (menú *Alarmas/ Configuración*) se ha establecido alguna restricción y ésta ha sido desbordada, en la codificación de magnitudes por colores se informará de qué *Nodos* y *Elementos* han desbordado las alarmas. Los *Nodos* en cuestión aparecerán rodeados por un círculo (cuyo color es función del tipo de alarma producida), mientras que los *Elementos* serán representados por una línea de trazos. En la FIGURA 7.21 se muestra un ejemplo.



FIGURA 7.21 Representación gráfica del desbordamiento de las alarmas.

En la codificación de magnitudes también se informa del sentido del fluido en cada una de las *Tuberías* mediante una flecha. Si no se desea que aparezcan estas flechas, se debe desactivar la casilla Flechas de sentido en la ventana *Visualización* (menú *Ver/ Visualización*) ó directamente en la opción menú *Ver/ Ver flechas de sentido*.

7.7.2 TABLA DE VALORES NUMÉRICOS

Los datos y resultados de un escenario ya calculado que se muestre en el *Mapa* de la red pueden consultarse mediante la *Tabla de Valores Numéricos* de la FIGURA 7.22 (a la que se accede mediante el icono) que contiene todos los *Nodos* y *Elementos* en orden creciente según su identificador, y que suministra los valores de las
siguientes magnitudes hidráulicas para los <u>Nodos</u>: Altura Piezométrica (m), Presión (m), Consumo (m³/s y en el caso de Línea de Emisores en l/h), Cota (m) Presión de Consigna (m), Margen de Presión (m) y Comentario. En los casos en que ciertos valores no sean definidos, bien por la tipología del Nodo o porque no se requiera, aparecerá el valor 0,00 en la casilla correspondiente.

Para los <u>Elementos</u> se ofrece información sobre algunas magnitudes constructivas e hidráulicas dispuestas en casillas tituladas Nodo inicial, Nodo final, Longitud, Diámetro, Rugosidad, Pérdida de Carga, Caudal, Velocidad y Comentario. Si el Elemento no es una Tubería, la información volcada en alguna de las casillas anteriores será reemplazada por otra información relevante o bien aparecerá en blanco.

Al hacer doble clic sobre cualquier columna, se ordenarán las filas en orden ascendente o descendente en función del contenido de esa columna.

Además, al pulsar el botón derecho, el contenido de una selección podrá ser afectado por las siguientes acciones: *Copiar, Pegar, Borrar* o *Cortar*, quedando disponible para su uso desde otras aplicaciones.

Tuberías: Se muestran los valores que corresponden al enunciado de las casillas: Nodo inicial, Nodo final, Longitud, Diámetro, Rugosidad, Pérdida de Carga, Caudal, Velocidad y Comentario.

Emisores: Los mismos datos que en *Tuberías* referidos al conducto asociado al emisor.

Bombas: La casilla *Diámetro* contiene el diámetro de aspiración, la *Velocidad* corresponde a la brida de aspiración, la casilla *Rugosidad* la potencia de la bomba (kW) y la casilla *Longitud* difiere cuando el cálculo es de un escenario simple a cuando calculamos una evolución temporal. En el primer caso contiene un valor nulo mientras que en el segundo caso, contiene la *Energía Consumida* hasta ese momento.

Hay que resaltar que si no hemos calculado las curvas de ajuste *Rendimiento-Q* y *Potencia-Q* la casilla *Longitud* contendrá un valor nulo, aún tratándose de una evolución temporal, y la casilla *Rugosidad* se encontrará en blanco.

Válvulas de Regulación Automática: La casilla Longitud contiene el texto: "VRP", "VSP", "VLQ" según la válvula sea reductora de presión, sostenedora de presión o limitadora de caudal, respectivamente. La casilla Diámetro contiene el diámetro de la brida de conexión de la válvula, la casilla Rugosidad contendrá los textos "regulando" o "pasiva" según el estado en que se encuentre. La Velocidad corresponde a la brida de conexión.

Elemento Libre: Si la opción elegida en la ventana de definición del *Elemento Libre* es la evaluación del coeficiente de resistencia K_s , las casillas *Diámetro*, *Longitud*, *Rugosidad* y *Velocidad* aparecerán en blanco. Si la opción de cálculo es cualquiera de las otras (cálculo del diámetro, longitud o *Rugosidad*, conociendo las otras dos magnitudes) las correspondientes casillas contendrán la información completa del conducto calculado. Cuando el *Elemento Libre* calculado corresponde a un *Elemento* de impulsión, en el menú emergente del Elemento se muestra la altura de impulsión

necesaria y el caudal trasegado para la satisfacción de las condiciones impuestas en la red.

Grupo de Tuberías Libres: En la presente versión de GESTAR cada *Elemento* componente de un *Grupo de Tuberías Libres* (ver pág. 127) es una *Tubería* en que, bien el diámetro o la *Rugosidad*, son calculadas por el programa conociéndose el otro parámetro y la longitud. En consecuencia, una vez calculado con éxito un escenario se conocen los datos completos del conducto y se muestran en las casillas respectivas.

Elementos Línea de Emisores: Vemos que, para el caso de *Líneas de Emisores*, se utiliza un *Elemento* para cada *Línea de Emisores*, y además, tantos tramos como subelementos configuran la *Línea de Emisores* total (ver pág. 112). Esto es debido a que hay algunas propiedades que de una *Línea de Emisores* pueden variar a lo largo de la misma, por lo tanto no tienen sentido más que a nivel de *Líneas de Emisores*, y no a nivel de *Elemento*. Tal es el caso, por ejemplo del diámetro, de la *Rugosidad* o de la *Velocidad*.

ATENCIÓN: La velocidad que se muestra para cada *Línea de Emisores* se refiere a la velocidad del fluido a la entrada de la misma, ya que luego variará, al disminuir el caudal a su paso por los emisores. Los datos mostrados en la celda de *Caudal*, se refieren al caudal emitido a lo largo de cada *Línea de Emisores*.

Las unidades del consumo de las *Línea de Emisores* **se darán en l/h**. Esto se debe a que los caudales con que trabajan los goteros son mínimos y en la mayoría de los casos, para ser expresados en m³/seg, se necesitaría un alto número de decimales para poder mostrar información significativa.

Resaltar también que la tabla para el caso de cálculos con *Escenarios Múltiples* varía con respecto a la que se muestra para un cálculo de redes colectivas a la hora de mostrar los datos de los *Elementos Líneas de Emisores*. La diferencia estriba en que ahora ya no se muestran los resultados para cada uno de las *Línea de Emisores* componentes de un *Líneas de Emisores*, sino únicamente los relativos al conjunto *Elemento* propiamente dicho. El motivo de estos cambios ha sido el hecho de no procesar una cantidad de datos estadísticos excesiva para mostrar una información que quizás no resultara realmente valiosa.

alores n	nedios del se ax	orteo encader C Mi <u>n</u>	nado.			− Gráfi Γ	i ca de barras Máxima 🦳 Consigna Media 🦳 Mínima Ver Gráfica	
	Nodo	2	ľ	Elementos	1			
	NODO	ALT, PIEZ	PRESIÓN	CONSUMO	COTA	P.CONSIGN	P.MARGEN COMENTARIO	
1	45	114,19	50,46	0,019	63,72	47,90	2,56 pC=52,944	1
2	44	114,06	31,02	0,010	83,04	28,70	2,32 pC=35,75736	
3	50	112,87	29,79	0,006	83,08	27,90	1,89 pc=33,92272	
4	49	113,67	37,53	0,008	76,14	35,05	2,48 Pc=44,05031	=
5	48	112,18	43,86	0,000	68,31	35,06	8,80 @	
6	46	113,51	56,94	0,010	56,57	36,15	20,79 @	
7	47	96,92	49,15	0,022	47,77	37,93	11,23 @	
8	37	103,09	53,96	0,016	49,13	36,01	17,95 @	
9	43	108,00	57,39	0,000	50,62	33,35	24,04 @	
10	42	111,49	65,41	0,008	46,08	34,47	30,94 @	
11	41	107,94	46,04	0,000	61,90	39,81	6,23 @	
12	40	104,64	46,66	0,017	57,98	32,07	14,59 @	
13	38	106,56	58,56	0,018	48,00	35,84	22,72 @	
14	39	114,41	43,14	0,020	71,27	40,97	2,17 @	
15	36	100,53	46,52	0,000	54,00	39,34	7,18 @	
16	35	114,68	51,77	0,017	62,91	33,88	17,89 @	
17	34	114,28	48,27	0,022	66,01	41,44	6,84 @	
18	33	114,26	39,49	0,017	74,77	36,40	3,09 @	
19	31	115,25	40,76	0,000	74,49	38,70	2,06 Pc=40,7283	
20	32	114,96	59,42	0,000	55,54	46,75	12,66 @	
21	30	112,59	56,06	0,019	56,53	38,87	17,19 @	
22	29	109,51	42,51	0,021	67,00	36,67	5,84 @	
23	28	114,40	38,71	0,031	75,69	37,70	1,01 pc=42,7629	
24	27	114,37	57,37	0,019	57,00	36,71	20,66 @	
	20	112 24	55 47	0.011	57.87	36.47	19.00 @	

FIGURA 7.22 Tabla Valores Numéricos

En el que caso de visualizar los resultados de los escenarios válidos de análisis de *Escenarios Múltiples*, se habilita en la parte superior izquierda de la ventana (FIGURA 7.22) una opción que permite seleccionar la visualización de los valores máximos, mínimos o medios de las variables en dichos escenarios. Para el resto de simulaciones esta opción se suple por información referente al tiempo de cálculo que se ha necesitado para el proceso de simulación del escenario, así como el número de iteraciones que ha requerido el método de resolución *Newton-Raphson* para alcanzar la convergencia según los criterios fijados en la ventana *Cálculos/ Parámetros* (pág. 158).

La anchura de las columnas se puede cambiar desplazando las líneas separadoras con objeto de que quepan correctamente las cantidades mostradas en cada casilla.

La barra de herramientas de la ventana *Tabla de Valores Numéricos* contiene las siguientes funciones:

- Botón . Ofrece la posibilidad de guardar los resultados en ficheros *con* extensiones ".xls" (ver pág. 222) ó ".txt". Opción también disponible en el menú de la ventana *Archivo/ Guardar*.
- **Botón** Bermite imprimir los resultados. Opción también disponible en el menú *Archivo/ Imprimir*.
- ◆ Botón ➡. Nos permite seleccionar los tipos de Nodos y Elementos que queremos que aparezcan en la Tabla de Valores Numéricos. Opción también disponible en el menú Archivo/ Personalizar Tabla. Se accede a la ventana de la FIGURA 7.23. Para agilizar el proceso de selección, el usuario puede Desactivar todos o Activar todos los tipos de Nodos y Elementos que aparecerán en la tabla empleando los botones correspondientes. Pulsando el botón Cancelar, se regresa a la tabla sin modificaciones en su configuración.

🗳 Filtro para Tabla de Result	ados	×
Seleccione los Tipos de Nodos y aparezcan en la Tabla de Resulta	Elementos que desea (ados	que
Nodos:		
🔽 Unión	Elementos	
🔽 Embalse	Conducción	1
🔽 Balsa	🔽 Bomba	
🔽 Presión Regulada	🔽 Válvula	
🔽 Consumo Conocido	🔽 Sin Caracte	rísticas Pasiva
Hidrantes Reguladores	🔽 Els. de Con	sumo en Ruta
🔽 Doble Condición		
🔽 Sin Condición	r f	1
Emisores	Activar todos	Desactivar todos
	Cancelar	Aceptar

FIGURA 7.23. Filtro para tabla de resultados.

Las opciones de menú en la ventana de la FIGURA 7.22 son las siguientes:

- ◆ Archivo/ Personalizar Tabla. Da acceso a la ventana de la FIGURA 7.23. (ver botón ➡).
- ♦ Archivo/ Guardar. Ofrece la posibilidad de guardar los resultados en ficheros con extensiones ".xls" (ver pág. 222) ó ".txt".
- *Archivo/ Imprimir*. Permite imprimir los resultados.

- ♦ *Archivo/ Salir*. Hace desaparecer la ventana *Tabla de Valores Numéricos*.
- Mapa/ Señalar. Mediante esta opción, es posible marcar en la ventana del Mapa los Nodos y/o Elementos que se deseen localizar rápidamente (p.e. para identificar componentes que posean algún valor fuera de rango). Para ello, basta con pulsar con el ratón sobre el identificativo del Nodo o Elemento en cuestión (columnas grises de la Tabla de Valores Numéricos). Un círculo de color sólido, complementario al color del fondo, y centrado en el componente en cuestión aparece en la ventana del Mapa de la red. Si se vuelve a hacer clic en la tabla sobre un Nodo o Elemento ya señalado, el círculo correspondiente desaparecerá. Cuando el componente a señalar se encuentra fuera de la zona del Mapa de la red mostrada en la pantalla, GESTAR modificará la zona visualizada, manteniendo la escala, y situará el componente buscado en el centro de la pantalla. Las herramientas "zoom" (y) eliminan las identificaciones.

7.7.3 FICHERO ASCII DE VALORES NUMÉRICOS

Desde la *Tabla de Valores Numéricos* se pueden generar, mediante el botón *Guardar*, ficheros de tipo *ASCII*, que contienen el volcado del contenido de dicha tabla. Deberá seleccionarse la extensión ".sal", ya que por defecto aparece la extensión ".xls". Se trata de ficheros de sólo texto donde los campos se encuentran separados por espacios. Denominando adecuadamente los ficheros se pueden almacenar y tener registrados los resultados de diversos escenarios para su comparación y análisis.

Mediante la opción de *Menú Archivo/ Abrir Resultados* (ver pág. 133) se accede a una ventana de diálogo que permite desplegar en pantalla uno de estos ficheros de salida para comparar interactivamente los valores numéricos guardados de un caso anteriormente calculado, con los resultados mostrados en el *Mapa* actual.

7.7.4 VISUALIZACIÓN DE VALORES NUMÉRICOS

Tanto antes de calcular, mientras se está construyendo o modificando la red, como después de calculado un escenario, mediante las órdenes *Valores en Nodos* y *Valores en Elementos* del *Menú Ver*, o mediante los iconos y y equivalentes, es posible la visualización de una magnitud junto a cada *Nodo* y *Elemento* elegida de entre sendas listas de la *Barra de Herramientas* asociadas a los iconos anteriores (pág. 76).

En el caso de los Nodos, las magnitudes elegibles son: Identificativo, Cota, Altura Piezométrica, Dotación, Consumo, Presión, Probabilidad, Presión de Consigna, Margen de Presión, Área Regada, Caudal Ficticio Continuo, Comentario y Diámetro Nominal (de la toma donde se realiza el consumo).

En el caso de los *Elementos*, las magnitudes elegibles son: *Identificativo*, Longitud, Diámetro Interior, Rugosidad, Material, Timbraje, Caudal, Velocidad, Pérdida de Carga, Pérdida de Carga por unidad de Longitud, Comentario, Diámetro Nominal + Material+ Timbraje, Caudal de Línea, Celeridad, DN (Diámetro Nonimal), Potencia y Rendimiento.

Se puede cambiar de una a otra sin más que escoger una nueva de las listas contiguas a los botones.

Las magnitudes disponibles pueden no estar definidas en todos los componentes, bien por ser opcionales, bien por no aplicarse a todos los tipos de *Nodos* o *Elementos*, o bien por ser variables que aún no han sido calculadas. **Cuando el valor de una magnitud no está definido en un componente por alguna de estas razones, no se visualiza ningún valor numérico o alfanumérico en el mismo.**

Las magnitudes que se seleccionan para la visualización permanecen de una simulación a otra, desapareciendo los valores numéricos de las magnitudes que son resultado del cálculo una vez se eliminan los resultados anteriores.

7.7.5 LISTADO EMERGENTE DE VALORES NUMÉRICOS

Para mostrar a la vez el valor de las magnitudes más relevantes en la simulación hidráulica de cada *Nodo* o *Elemento* se debe pulsar con el botón secundario del ratón sobre el *Nodo* o un punto del *Elemento* en cuestión.

Si no se han efectuado cálculos de simulación de un escenario, al situar el ratón sobre cualquier *Nodo* o *Elemento* y pulsar el botón secundario, se despliega un menú con los datos más relevantes de configuración de cada componente, indicando en gris qué magnitudes del componente son todavía desconocidas y no pueden ser mostradas porque aun no han sido simuladas. Las magnitudes que son conocidas o desconocidas dependen del tipo de *Nodo* o *Elemento*.

Cuando el *Mapa* de la red refleja un escenario ya simulado, la ventana emergente se muestra con los valores de las magnitudes relevantes, incluyendo tanto los valores que han sido dados como dato como aquellos que han sido obtenidos del cálculo, como se puede ver en la FIGURA 7.24.



FIGURA 7.24 Listado Emergente de Valores Numéricos.

Las magnitudes reflejadas tras la simulación en las ventanas emergentes son idénticas, en el caso de que existan, para todos los *Nodos (Identificativo, Cota, Consumo, Altura Piezométrica, Altura de Presión y Margen de Presión)* pero difieren en el caso de los *Elementos*. Así en los *Elementos Tubería, Emisores y Elementos Libres* pasivos (en que no se calcule *K_s*, ver pág. 335), los datos mostrados coinciden con los que aparecen en la FIGURA 7.24. Las *Válvulas Reguladoras Automáticas, Bombas, Elementos Línea de Emisoresy Elementos Libres* activos, o en los que se determine *Ks*, la ventana emergente contiene información adaptada a las características del *Elemento*. Las *Cuberías* a la hora de mostrar resultados (cuando no se ha calculado todavía la red, en el menú emergente se informa de que la variable incógnita no se ha calculado).

Asimismo en los menús contextuales para los *Elementos de* tras un cálculo con *Escenarios Múltiples* (escenarios válidos), se muestran los valores máximo, medio mínimo para ciertos resultados (ver pág. 271).

7.7.6 RESULTADOS EN FORMATO EXCEL

Como ya se ha comentado, desde algunos procesos implementados en GESTAR se generan archivos con extensión *.xls. Son libros de trabajo editables con la aplicación *EXCEL* en todas su versiones a excepción de la versión *EXCEL 2007*, que contienen información organizada en una o varias hojas de cálculo.

Los valores se ordenan en filas y columnas, composición característica de la aplicación, permitiendo así que la información recogida pueda ser explotada y manipulada con las herramientas de cálculo y gráficos que posee *EXCEL*, y consiguiendo además, aprovechar sus facilidades de impresión.

Tabla de Valores Numéricos de las magnitudes de un escenario

Desde el botón *Lista de Resultados* , se ofrece la opción de almacenar la información presentada en la *Tabla de valores Numéricos* (ver pág. 215). Al pulsar el botón (FIGURA 7.22), se guardará por defecto un libro de trabajo con extensión ".xls" con la información que se muestra en cada una de las tablas. Si se decide utilizar la opción *Personalizar Tabla* de la misma ventana (ver pág. 219) el documento en *EXCEL* quedará cargado exclusivamente con los tipos de *Nodos* y *Elementos* seleccionados.

	Microsoft Ex	cel -	lista	resultados.xls						
	Archivo E	dicid	ón <u>V</u>	er <u>I</u> nsertar	<u>Formato</u> <u>H</u> e	rramientas Da <u>t</u>	os Ve <u>n</u> tana <u>?</u>			_ & ×
	🖻 🖬 🛔	3	s [à 💖 🐰 I	è 🛍 💅	∽ - ⊂ - 🦉	$\Sigma f_{x} \stackrel{A}{\underset{Z}{\downarrow}} \stackrel{Z}{\underset{A}{\downarrow}}$	1. 43	100% 👻 👰	. N € .
-	A1	-		= ID EL	EM					
	A	В	С	D	E	F	G	Н		J
1	ID ELEM	NI	NF	LONGITUD	DIÁMETRO	RUGOSIDAD	PERD. CARGA	CAUDAL	VELOCIDAD	COMENTARIO
2	6	3	6	112,18	0,132	0,00001	1,2412	0,018	1,319	
3	2	1	2	150	0,297	0,00001	0,1542	0,042	0,608	
4	3	2	3	200	0,235	0,00001	0,6257	0,042	0,965	
5	4	3	4	268,44	0,118	0,00001	0,0000	0,000	0,000	
6	8	3	8	189,27	0,169	0,00001	1,0502	0,024	1,065	
7	7	2	7	177	0,151	0,00001	0,0000	0,000	0,000	
8	5	2	5	136,5	0,151	0,00001	0,0000	0,000	0,000	
9	9	1	9	173	0,297	0,00001	0,0388	0,018	0,261	
10	13	9	13	130,2	0,188	0,00001	0,2576	0,018	0,646	
11	14	13	14	100	0,118	0,00001	0,0000	0,000	0,000	
12	15	13	15	109	0,132	0,00001	1,2060	0,018	1,319	
13	11	9	11	110,5	0,151	0,00001	0,0000	0,000	0,000	
14	10	9	10	270	0,297	0,00001	0,0000	0,000	0,000	
15	12	10	12	127	0,188	0,00001	0,0000	0,000	0,000	
16	16	10	16	263,5	0,235	0,00001	0,0000	0,000	0,000	
17	17	1	17	456,7	0,600	0,00001	0,2247	0,182	0,644	
18	19	17	19	188	0,600	0,00001	0,0925	0,182	0,644	
19	18	17	18	164,5	0,188	0,00001	0,0000	0,000	0,000	
20	25	19	25	153	0,297	0,00001	0,3371	0,064	0,926	
	I I I E	eme	ntos	Nodos /			4			•
List	to								NUM	

FIGURA 7.25 Hoja de cálculo EXCEL con Valores Numéricos de Elementos.

Se crearán dos hojas de cálculo, una con los datos referentes a los Elementos (*Identificativo del elemento, Nodo inicial, Nodo final, Longitud, Diámetro Interior, Rugosidad, Pérdida de Carga, Caudal, Velocidad y Comentario*) y otra que recoge las magnitudes asociadas a los Nodos (*Identificativo del Nodo, Altura Piezométrica, Presión, Consumo, Cota, Presión de Consigna, Margen de Presión y Comentario*).

	licrosoft	Excel	- lista	esultados.xl	s				
	Archivo	Edici	ón <u>V</u>	er <u>I</u> nsertar	Eormato He	erramien	tas Da <u>t</u> os Ve <u>r</u>	tana <u>?</u>	_ 8 ×
	🖻 🔛		8	A 185 X	Pa 💼 🝼	¥7) → (α - 🎑 Σ 🤅	f _* <u>2</u> ↓ 100 :	100% 🗕 🛛 🔋 🗲 🕺
ľ.	M26	÷		=					14.
	A	E	3	С	D	E	F	G	Н
1	NODO	ALT.	PIEZ	PRESIÓN	CONSUMO	COTA	P.CONSIGNA	P.MARGEN	
2	4	143,	7491	44,25	0,00	99,5	40,0000	4,25	2
3	6	142,	5079	43,01	0,02	99,5	40,0000	3,01	D
4	5	144,	3748	44,87	0,00	99,5	40,0000	4,87	2
5	8	142,	6989	43,20	0,02	99,5	40,0000	3,20	2
6	7	144,	3748	44,87	0,00	99,5	40,0000	4,87	D.
7	11	144,	4902	44,99	0,00	99,5	40,0000	4,99	2
8	15	143,	0265	43,53	0,02	99,5	40,0000	3,53	2
9	14	144,	2326	44,73	0,00	99,5	40,0000	4,73	2
10	16	144,	4902	44,99	0,00	99,5	40,0000	4,99	2
11	12	144,	4902	44,99	0,00	99,5	40,0000	4,99	2
12	18	144,	3043	45,05	0,00	99,25	40,0000	5,05	2
13	27	143,	8747	44,87	0,00	99	40,0000	4,87	2
14	29	143,	7506	44,75	0,01	99	40,0000	4,75	2
15	30	143,	4612	44,46	0,01	99	40,0000	4,46	2
16	22	143,	4097	44,41	0,04	99	40,0000	4,41	2
17	23	143,	8412	44,84	0,00	99	40,0000	4,84	2
18	28	143,	0226	44,02	0,04	99	40,0000	4,02	2
19	32	144,	1547	45,15	0,00	99	40,0000	5,15	2
20	33	144,	1547	45,15	0,00	99	40,0000	5,15	2
	I F FI	Elem	entos	Nodos/			•		•
List	0							N	UM

FIGURA 7.26 Hoja de cálculo EXCEL con Valores Numéricos de Nodos.

Curva de Consigna

Desde el *Menú: Regulación de Bombeo/ Curva de Consigna* se ofrece la herramienta para el cálculo de la *Curva de Consigna* del sistema (ver pág. 312). Se define como la relación existente entre la altura de presión necesaria en cabecera y el caudal demandado para cada escenario. La red deberá cumplir una serie de requisitos para que se pueda llevar a cabo el cálculo de la Curva de Consigna Los resultados se guardarán en un archivo *EXCEL* con la apariencia siguiente:

	Microsoft Excel	- sinexportarcas	osintermediosa	ds		l	
	<u>Archivo</u> <u>E</u> dici	ón <u>V</u> er <u>I</u> nsert	ar <u>F</u> ormato <u>H</u>	erramientas Da	<u>t</u> os Ve <u>n</u> tana	2	_ 8 ×
	🖻 🖪 🔒	🖨 🖪 🖤 👌	6 🗈 🛍 🝼	∽ • • • •	🔒 Σ <i>f</i> ∗ <mark>2</mark> ↓	100% -	??. * € *
	C14 -	=					
	A	В	С	D	E	F	G
1	%	Q MAX(m3/s)	H MAX (m)	Q MED (m3/s)	H MED(m)	Q MIN (m3/s)	H MIN(m)
2	0%	0	62	0	62	0	62
3	10%	0,077999994	65,49	0,065439998	62,41	0,054	58,65
4	20%	0,16399999	65,84	0,147939997	62,76	0,1	61,4
5	30%	0,219999999	66,31	0,214699997	63,38	0,18599999	62,62
6	31,82 %	0,255999982	66,43	0,240219994	63,46	0,19600001	63,23
7							-
H	Hoja:	1/			•	1	•
Lis	to					MAY NUM	

FIGURA 7.27. Hoja de Cálculo EXCEL Resultados Curva de Consigna.

Se describe a continuación a qué corresponden los valores representados en cada columna de la hoja de cálculo:

- %: Se trata de los porcentajes de demanda en cabecera, que resultan al comparar el caudal trasegado con el caudal acumulado, para los cuales se han realizado el número de *Escenario Aleatorios* requeridos
- Q MAX (m³/s): valor del caudal máximo correspondiente a H MAX obtenido de entre los escenarios aleatorios analizados para ese porcentaje de demanda en cabecera.
- H MAX (m): altura máxima encontrada necesaria para dotar de presión suficiente a todos los hidrantes abiertos en los escenarios aleatorios analizados para ese porcentaje de demanda en cabecera.
- Q REC (m³/s): valor del caudal correspondiente a H REC obtenido de entre los escenarios aleatorios analizados s para ese porcentaje de demanda en cabecera.
- H REC (m): Valor recomendado de la altura de consigna para ese porcentaje de demanda en cabecera (ver Anexo específico, pág. ;Error! No se encuentra el origen de la referencia.;Error! Marcador no definido.).
- Q MIN (m³/s): valor del caudal correspondiente a H MIN obtenido de entre los escenarios aleatorios analizados para ese porcentaje de demanda en cabecera.
- H MIN (m): altura mínima encontrada necesaria para dotar de presión suficiente a todos los hidrantes abiertos en los escenarios aleatorios analizados para ese porcentaje de demanda en cabecera.

Los valores medio recomendados (Q REC y H REC) representan **la Curva de Consigna**, que garantiza suministro de presión a los puntos más desfavorables con un grado de fiabilidad (probabilidad de que el requerimiento de presión no sea excedido) similar y coherente con la garantía de los caudales diseño en cabecera mediante la formulación de Clement. La curva de consigna máxima se obtiene al representar los valores máximos Q MAX y H MAX. Se trata pues de la envolvente de los requisitos de presión máximos absolutos a lo largo de todos % de demanda analizados. La curva de consigna mínima viene definida por los valores de las columnas Q MIN y H MIN, siendo la envolvente de los requisitos de presión mínimos absolutos a lo largo de todos % de demanda analizados

Cuando se lleva a cabo el cálculo de la *Curva de Consigna* se puede activar una opción que permite *Exportar casos intermedios*. El libro de trabajo EXCEL resultante se verá incrementado con varias hojas de cálculo, una por cada uno de los porcentajes de demanda que se han realizado *Escenario Aleatorios* (FIGURA 7.28).

2	<u>Archivo</u> <u>Edici</u>	ón <u>V</u> er <u>I</u> nser	tar <u>F</u> ormato <u>I</u>	Herramientas	Da <u>t</u> os Ve <u>n</u> tan	a <u>?</u>		_ 8
D	🗲 🖪 🔒	a 🕽 🖉	ኤ 🖻 🛍 🝼	10+C+	🍓 Σ f 🗶		🔥 100% 👻 🖸	2.]€
	AN4	- =						_
	A	B	С	AJ	AK	AL	AM	AN
1		4	6	57	58	Q (m3/s)	P demandada	crítica
2	Escenario 1	Х	Х	Х	Х	0,28799999	64,52	
3	Escenario 2	Х	Х	58,51	Х	0,278	66,04	
4	Escenario 3	X	64,25	62,61	61,02	0,25999999	64,25	
5	Escenario 4	Х	Х	Х	58,43	0,26800001	64,49	
6	Escenario 5	Х	Х	59,2	59,31	0,296	64,45	
7	Escenario 6	Х	Х	59,66	61,16	0,204	65,78	
1.))) 31.8	2%/30%/	20 % / 10 %	/ 0 % / Hoja	1/ 4	C		

FIGURA 7.28. Hoja EXCEL Curva Consigna con casos intermedios.

El usuario conocerá para cada escenario cuáles son los *Nodos* abiertos, cuál es la altura de presión requerida en cada uno de ellos, y el caudal trasegado y la presión demandada crítica, pudiendo establecer curvas de consigna a la medida con fiabilidades (percentiles de escenarios garantizados) variables (ver Anexo específico, pág. **¡Error!** No se encuentra el origen de la referencia.**¡Error! Marcador no definido.**).

Función Densidad de Probabilidad del caudal bombeado

De forma opcional, desde el *Menú: Regulación bombeo/ Función de Probabilidad del Caudal Bombeado* (ver pág. 312), se permite la generación de un archivo EXCEL con los resultados tabulados de probabilidad de demanda de caudal mensual y anual obtenidos para cada uno de los valores de caudal requeridos.

	licrosoft Exce	- funciondensi	dadbuena2.xls					23
	Archivo Edic	ión <u>V</u> er <u>I</u> nser	tar <u>F</u> ormato <u>I</u>	Herramientas	Da <u>t</u> os Ve <u>n</u> tan	a <u>?</u>	_	8 ×
	🖻 🖪 🔒	a 🛯 🖤	አ 🖻 💼 🝼	6 - 01 -	🚇 Σ f*	100%	• ? »	€ "
1	A19	= 0	17000000931	1751				
	A		J	К	L	M	N	
1	Caudal	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	ANUAL	
43	0,4	0,00057274	1,70297885	0	0	0	0,8374283	
44	0,42	0,00075805	1,73872356	0	0	0	0,84449782	
45	0,43	0,0009986	1,77122132	0	0	0	0,85055278	
46	0,44	0,0013093	1,80026373	0	0	0	0,85562023	
47	0,4	0,00170859	1,82566226	0	0	0	0,85973336	
48	0,40	0,00221916	1,84725033	0	0	0	0,86293122	
49	0,47	0,00286874	1,86488508	0	0	0	0,86525848	
50	0,48	0,00369102	1,87844899	0	0	0	0,86676515	
51	0,49	0,00472664	1,88785112	0	0	0	0,8675064	
52	0,5	0,00602437	1,89302821	0	0	0	0,86754241	
53	0,51	0,00764228	1,89394533	0	0	0	0,8669382	
54	0,52	0,00964908	1,89059628	0	0	0	0,8657636	
55	0,53	0,01212554	1,88300367	0	0	0	0,8640932	
56	0,54	0,0151659	1,87121866	0	0	0	0,86200635	
57	0,5	0,01887937	1,85532041	0	0	0	0,85958715	
58	0,50	0,02339154	1,83541515	0	0	0	0,85692452	
59	0,5	0,02884578	1,81163502	0	0	0	0,85411218	
60	0.58	0.03540445	1.78413664	0	0	0	0.8512486	
			1		11			
List	0					NUN	1	

FIGURA 7.29. Hoja EXCEL Función de Probabilidad

A su vez, se puede solicitar *Exportar Medias y Varianza*, creándose desde GESTAR una nueva hoja EXCEL (FIGURA 7.30).

	licrosoft Excel -	fconmediyvar	elec.xls					23
	<u>Archivo</u> <u>E</u> dicio	ón <u>V</u> er <u>I</u> nsert	tar <u>F</u> ormato <u>I</u>	<u>H</u> erramientas	Da <u>t</u> os Ve <u>n</u> tan	a <u>?</u>	_ 8	×
	🖻 🖬 🔒	5 D. 🖤 ،	% 🖻 🛍 🝼	N - CH -	🍓 Σ f 🗶	100%	• 🔹 🐉 🕇	e ?
	A1 🔻	= M	ES					
	A	В	С	D	E	F	G	
1	MES	Media Valle	Media Llano	Media Punta	Varianza Vall	Varianza Llar	Varianza Punta	
2	1	0	0	0	0	0	0	
3	2	0	0	0	0	0	0	
4	3	0	0	0	0	0	0	
5	4	0	0	0	0	0	0	
6	5	0,32843915	0,32515476	0,33500793	0,03649551	0,03627186	0,03693425	
7	6	0,72691311	0,71964398	0,74145137	0,04244729	0,04271498	0,04186995	
8	7	0,97565746	0,96590089	0,99517061	0,02486097	0,02585928	0,02278877	
9	8	1,00946734	0,99937267	1,02965669	0,02120657	0,02232935	0,01888013	
10	9	0,50714866	0,50207717	0,51729163	0,04436134	0,04425464	0,04455432	
11	10	0	0	0	0	0	0	
12	11	0	0	0	0	0	0	
13	12	0	0	0	0	0	0	
14								
15		1.111						-
4	Proba	abilidades de	apertura/		•		•	
List	0				J	NUM		

FIGURA 7.30 Hoja EXCEL Medias y varianza

Esta EXCEL almacena los valores mensuales de las medias (promedio aritmético de las observaciones) y de la varianza (medida de la variabilidad, es el promedio del cuadrado de las distancias entre cada observación y la media del conjunto de observaciones) referentes al caudal demandado (ver pág. 297).....

Prestaciones de la Estación de Bombeo

Los resultados del cálculo de las prestaciones de bombeo (ver apartado 10.6.2 REGULACIÓN DE LA ESTACIÓN) se recogen exclusivamente en un libro de trabajo de extensión *.xls.

En virtud de la *Curva de Consigna* adoptada, y de la composición y tipo de regulación de los equipos de impulsión, GESTAR calcula la familia completa de *Curvas de Actuación* de la estación de bombeo, consistente en la colección de funciones que caracterizan el comportamiento conjunto de la estación, en función del caudal de impulsión total q (Altura de Elevación Neta, H_t ; Potencia Absorbida Total, P y Rendimiento Global, η), y de cada uno de los grupos de bombeo integrantes (incluyendo las rpm en función del caudal, q, para los grupos de velocidad variable).

El archivo en EXCEL incluye los resultados en forma tabulada (ejemplo en FIGURA 7.31).

	Microsoft Excel	- Worked_exam	ple_pumps_reg	gulation.xls				
	Archivo Edici	ón <u>V</u> er <u>I</u> nsert	ar <u>F</u> ormato <u>I</u>	<u>H</u> erramientas	Da <u>tos Ven</u> tan	a <u>?</u>		_ & ×
	🖻 🖬 🔒	a 🛯 🖓 🛛	% 🖻 🖻 🛷		🍓 Σ f *		00% 🗕 🔇	.» . €. *
	R5 💌	= 0,	813670973437	169				
	L	М	N	0	P	Q	R	S 🔒
1	Q total bomb	Pabs bombas	Rendimiento	Q bomba vari	Pabs bomba	Rendimiento	Alfa bomba va	P util to
2	0	4,64627832	0	0	4,64627832	0	0,60578658	
3	0,01	12,3120873	29,9216029	0,01	12,3120873	29,9216029	0,78443308	
4	0,02	15,5722144	47,4385677	0,02	15,5722144	47,4385677	0,79779052	
5	0,03	19,6724019	56,5720069	0,03	19,6724019	56,5720069	0,81367097	
6	0,04	24,2688167	61,5142183	0,04	24,2688167	61,5142183	0,82963313	
7	0,05	29,3542477	64,0644051	0,05	29,3542477	64,0644051	0,84830413	
8	0,06	35,4645265	64,2301378	0,06	35,4645265	64,2301378	0,87436175	
9	0,07	43,4417126	61,8482308	0,07	43,4417126	61,8482308	0,91260524	
10	0,08	53,6325801	57,9721529	0,08	53,6325801	57,9721529	0,96248466	•
K	Resu	ltados/			•			
Lis	to						NUM	

FIGURA 7.31 Hoja EXCEL Prestaciones Estación de Bombeo.

8 DIMENSIONADO DE REDES COLECTIVAS RAMIFICADAS

8.1 GENERACIÓN PREVIA DE TOPOLOGÍA Y DEMANDAS.

Previo a cualquier tipo de cálculo, será necesario implementar la red a estudio vigilando que se cumplan las restricciones que se detalla a continuación:



FIGURA 8.1 Ejemplo Red sin Elemento Bomba en cabecera (alimentación por gravedad, altura piezométrica conocida).

- La red deber ser estrictamente ramificada. (ver pág. 335).
- El nodo de Cabecera será un *Nodo* de *Presión Conocida*, *Embalse* o *Balsa*, que tendrá el identificativo alfanumérico nodo cero. "0".
- No podrá nunca salir **más de una línea del nudo de cabecera**, esto es, desde este *Nodo* se conectará un único *Elemento*, tal y como se muestra en el ejemplo de la

FIGURA 8.1. Este requisito es necesario para que el programa GESTAR asuma que la red cargada es una red estrictamente ramificada.

- En cada línea (*Elemento Tubería* o *Bomba*) el nudo aguas arriba y el nudo aguas abajo se definirán según el sentido de circulación del agua. Por tal motivo, no puede haber dos líneas con el mismo *Nodo* aguas abajo.
- Los extremos finales de ramales de la red deben tener asignado obligatoriamente un consumo y una presión mínima requerida. Los ramales ciegos sin consumo deben eliminarse del modelo antes de proceder a cualquier etapa del dimensionado.

Además, la topología y las demandas se cargarán combinado exclusivamente los siguientes tipos de *Nodos* o *Elementos*:

- Nodos de Consumo Conocido / Hidrantes reguladores: Representarán hidrantes, será necesaria la definición de los datos de consumo y cota para cada Nodo (ver , pág. 87) o Hidrante Regulador (ver , pág.91). Se recomienda usar Nodos de Consumo Conocido. En el dimensionado NO se recomienda trabajar con Hidrantes Reguladores ya que este tipo de Nodo requiere introducir en su definición los valores del coeficiente de pérdidas del hidrante completamente abierto y de uno de los parámetros de la ecuación de pérdidas de la red en parcela (ver , pág.91), lo que implica una modelización más compleja y un esfuerzo adicional de configuración, que no aporta ventajas frente al Nodo de Consumo Conocido en la fase de dimensionado.
 - Independientemente del método de cálculo a emplear para la asignación de los Caudales de Diseño, los *Nodos* que representen hidrantes que van a formar parte del diseño no podrán encontrarse cerrados. De lo contrario, se tomarán como *Nodos* con consumo nulo.
 - En el caso habitual de que en ellos se desee una presión mínima requerida, se recomienda que esta aparezca impuesta como *Presión de Consigna* (junto con la correspondiente casilla de regulación seleccionada) en el momento de comenzar el dimensionado.
 - En el caso de que el cálculo de los Caudales de Diseño vaya a efectuarse mediante el **Método de Clement**, es imprescindible introducir valores de *Área Regada, Caudal Ficticio Continuo y Rendimiento* en cada hidrante.
- ♦ Nodos de Unión: Que corresponden a bifurcaciones donde la demanda es nula y sólo es preciso introducir la cota. No puede haber Nodos de Unión como extremos de ramales.
- Nodo de Presión Conocida, Nodo Embalse o Nodo Balsa: podrá situarse sólo en cabecera para indicar el único punto de alimentación con altura piezométrica conocida. Si se especifica la cota de una superficie libre ello supone especificar un valor de presión, respecto a la atmosférica, nulo. Si se especifica la cota de solera o de otro punto, la presión será igual al nivel de agua respecto a dicho punto. En caso de que se inserte una estación de bombeo de altura indeterminada (ver a continuación

recomendaciones referentes a Elemento Bomba) la altura piezométrica resultante corresponde al punto de aspiración de la estación de bombeo.

- Nodo de Presión Conocida. El usuario asignará en la casilla Cota la altura del punto donde se ubica el Nodo inicial del primer tramo de la red, e introducirá el valor adecuado de altura de presión reinante en dicho Nodo de entrada a red. GESTAR adoptará durante el proceso de dimensionado la suma de ambos valores como altura piezométrica de partida (ver , pág. 86).
- Nodo Embalse. La cota de lámina libre, con presión nula, designada a través del correspondiente cuadro de diálogo (ver , pág. 84), será la que GESTAR tomará como altura piezométrica durante el proceso de dimensionado.
- Nodo Balsa. Para este tipo de Nodo, la Altura Piezométrica que se tendrá en cuenta en el proceso resultará de la suma de la altura geométrica asignada en la casilla Cota y el valor de Nivel Inicial del líquido en la balsa respecto a la solera (ver), pág. 84).
- *Elemento Tubería*: la longitud que figure en la casilla correspondiente será la utilizada para la optimización. Se ignorarán las selecciones de *Material, Timbraje*, diámetro, *Rugosidad* que se asignen, salvo en los tramos que se vayan a forzar posteriormente, en que se adoptarán los valores dados en previamente al arranque del módulo de optimización.
- Elemento Bomba: ATENCIÓN en los casos en que la altura piezométrica de cabecera, dada por un sistema de bombeo, sea una variable a calcular dentro de la optimización, tal condición se indicará gráficamente insertando una Bomba Virtual que conectará el Nodo de cabecera con el Nodo aguas arriba del primer tramo de Tubería de la red. Las curvas características de la Bomba Virtual introducida son arbitrarias y están definidas con los valores que GESTAR facilita por defecto. Desde el Nodo de Unión aguas abajo del Elemento Bomba, sólo podrá salir una línea, tal y como se muestra en la FIGURA 8.2.



FIGURA 8.2 Ejemplo Red con Elemento Bomba en cabecera.

ADVERTENCIAS

- Comprobaciones previas. Antes de iniciar el proceso de dimensionado, es preciso que se verifique que se han asignado los sentidos de orientación de las *Tuberías* coincidentes con las direcciones del flujo. Para comprobarlo, se recomienda asignar a los Elementos Conducción diámetros elevados, y con todos los hidrantes abiertos, ejecutar la función *Calcular el Escenario* (ver de la barra de herramientas, pág. 71).Una vez calculada el escenario, el usuario puede acceder a visualizar los caudales en pantalla (ver , pág. 76) o desde el listado numérico (ver , pág. 73), debiendo asegurarse de que no se han obtenido para ningún *Elementos*. En caso de que los hubiera se procedería cambiar la orientación de tales *Elementos* (ver pág. 99). El proceso de cambio de sentido de todos los *Elementos* que tengan caudal negativo puede efectuarse automáticamente en el *Menú*: *Diseño en Parcela/Sentido de Circulación*.
- Nodos de Consumo. Todos los Nodos de consumo (Consumo Conocido, Hidrante Regulador) de final de ramales han de estar abiertos recomendándose tener además Presión de Consigna asignada y la casilla de regulación activada, si se desea establecer esta presión como requisito de presión mínima, con objeto de evitar tener que asignar requisitos de presión mínima individuales posteriormente, al ejecutar el Asistente de Dimensionado. En caso de que un Nodo de consuno de final de línea esté cerrado, el programa no podrá realizar ningún tipo de dimensionado.
- Nodos de Unión. Si se va a utilizar la herramienta de cálculo de Caudales de Diseño no puede haber un *Nodo de Unión* como final de ningún ramal,

proveniente de transformación de desagües, ramales ciegos, ventosas,... ya que deja indeterminado el caudal de línea del ramal.

- Base de Datos Tuberías. *GESTAR* utilizará como *Base de Datos de Tuberías* la asociada a la red actual. La optimización posterior de la red se realizará a partir de los costes por metro lineal de conducción especificados en esta base de datos, por lo que resultará de vital importancia su correcta definición. Para modificar la base de datos de *Material*, utilice exclusivamente las herramientas suministradas *Fichero/Modificar Base de Datos* (consultar el Capitulo 11: MANEJO DE BASES DE DATOS). Se recomienda:
- Predecir por parte del usuario qué tipo de *Material* debe proyectarse para cada rango de diámetros y crear una base de datos específica para el proyecto conteniendo sólo los *Material*, *Timbraje* y diámetros que se pretende utilizar. El usuario podrá crear, mediante duplicado de una base de datos existente, una nueva *Base de Datos de Tuberías* en la que aparezcan (por restricción y/o ampliación) exclusivamente los *Material*, *Timbraje* y diámetros seleccionados como candidatos.
- La base de datos debe contener todos los *Material* susceptibles de ser empleados, incluso en diversas alternativas de diseño, realizando la selección de cada alternativa posteriormente, gracias al asistente de dimensionado, en su PASO 9: *MATERIAL*.
- Revisar cuidadosamente los precios consignados para cada Material, *Timbraje* y diámetro, sin aceptar por defecto los existentes en base de datos previas, actualizando los precios. Contemplar en estos precios no sólo los costes de *Tubería* instalada, si no también los movimientos de tierra, relleno y, si puede ser afectada por la elección de *Material.*, la repercusión por ml/ estimada de piezas especiales y valvulería
- El dimensionado a partir de una *Base de Datos de Tuberías* con varios tipos de *Material* para cada diámetro y *Timbraje*, puede llevar a resultados de dimensionado no deseados desde el punto de vista constructivo, por ejemplo al aparecer en tramos de pequeña longitud, cambios de diámetro, *Material* o *Timbraje*, que posteriormente, en la etapa de análisis deberán ser modificados mediante criterios racionales.
- A la hora de inicializar las rutinas de dimensionado, para cada uno de los *Timbraje*, los datos referentes al diámetro de conducciones y su coste por metro lineal ajusta a una función exponencial. Previo a la carga de la base de datos, resulta aconsejable representar las gráficas Coste/*Diámetro Interior* y el ajuste exponencial correspondiente (por ejemplo con la ayuda de EXCEL) para conocer la bondad de la aproximación ajuste (ver FIGURA 8.3). Se recomienda NO incluir en la base de datos los diámetros que, por exceso o defecto, estén fueran del rango previsto de diámetros a usar, NI aquellos intermedios que a priori se desee excluir, ya que pueden forzar un ajuste inadecuado de la curva exponencial en la zona de diámetros de interés. Si incluso en este caso se encuentran zonas con puntos que queden alejados de una única curva de ajuste, se

recomienda subdividir el *Material* y *Timbraje* en dos o mas subrangos, creando pseudo-*Material* que cubran zonas de diámetros distintos, con denominación diferente (p.e. FD-A, FD-B,...).



FIGURA 8.3 Ejemplo Ajuste Exponencial pares de valores Coste/ Diámetro

- Bajo ningún concepto asigne costes arbitrarios a los diámetros cuya intervención se pretende excluir en el dimensionado, (por ejemplo dando valores muy elevados) ya que distorsionarían completamente la curva de ajuste de precios. Los diámetros que se deseen excluir deberán ser eliminados de la base de datos.
- Si los rangos de diámetros a utilizar dependen de la selección de la combinación de *Material*, o de la hipótesis de diseño, se recomienda definir una base de datos distinta para cada combinación. Se recomienda no incluir en cada una de estas bases de datos, los diámetros que quedan excluidos en la opción del dimensionado con objeto de mejorar los resultados de la optimización.
- Puesto que el método de dimensionado ajusta a una función exponencial a los datos de diámetros y costes de *Tuberías* para cada *Timbraje*, será necesaria la carga en la *Base de Datos de Tuberías* de **al menos dos diámetros** diferentes por *Timbraje*. Tampoco puede haber materiales con datos vacios
- En ocasiones el programa solicita añadir un diámetro adicional en la serie de un *Material* para un *Timbraje* dado, incluso aunque después este diámetro no sea elegido. En tal caso, se recomienda introducir un precio que se corresponda con la línea de tendencia de ajuste del resto de pares de valores diámetro/precio.

8.2 CAUDALES DE DISEÑO A LA DEMANDA

El usuario accederá al cómputo de Caudales de Diseño mediante GESTAR, paso previo a la optimización de la red ramificada, a través del menú *Dimensionar*, opción *Caudales de Diseño*. Como ya se ha señalado, será imprescindible que la topología y condiciones de contorno de la red se generen tal y como se especifica en el apartado 8.1 para que GESTAR pueda realizar el cálculo de Caudales de Diseño.

Para reducir la inversión en las *Tuberías* en una red de distribución para riego, se puede dimensionando los *Elementos* de la red a turnos, o bien a la demanda pero solo mientras los caudales sean caudales inferiores a los consumos más extremos.

Habitualmente las redes de riego a presión a la demanda el dimensionado se realiza para que el sistema funcione satisfactoriamente con un alto grado de probabilidad (Garantía de Suministro), incluso en las condiciones más exigentes de volúmenes de riego (periodo punta), pero sin llegar a suministrar los mayores caudales posibles. Esto es debido a que, las demandas más altas sólo se van a presentar en un número limitado de días al año, por lo que el asegurar un funcionamiento con cualquier nivel de demanda, incluso las muy poco probables, obliga sobredimensionar las *Tuberías* principales de mayor diámetro, y en consecuencia induce elevados costes, de unas *Tuberías* que estarán infrautilizadas la mayor parte del tiempo.

Mediante el cuadro de diálogo de la FIGURA 8.4, el usuario podrá seleccionar el criterio de diseño que desee para que GESTAR realice el cálculo de los Caudales de Diseño.

90

Dpciones para asignar caudales de línea: C Caudales Acumulados Caudales equivalentes de Clèment	diseño nulo para el tramo a	anterior a dicho nodo. e Suministro
Clèment Garantía de suministro: C Global 95 % © Selectiva	Garantía de Suministro 95 % Número de hidrantes aguas abajo en el cual se comienza a aplicar la garantía:	Desde 20 hidr 95 Desde 4 hidr 99 i
Calcular Salir	Agregar a la lista	Borrar lista

FIGURA 8.4 Cuadro de diálogo Caudales de Diseño

- Caudales Acumulados. Al seleccionar la opción Caudales Acumulados, GESTAR calcula los Caudales de Diseño que circularán por cada una de las Tuberías bajo la hipótesis de que se encuentran todos los Nodos de Consumo Conocido en funcionamiento en un mismo instante (excepto aquellos que se encuentren configurados como cerrados o incondicionalmente cerrados, en el momento de lanzar la función Caudales de Diseño, según se explica en apartado 8.1 GENERACIÓN PREVIA DE TOPOLOGÍA Y DEMANDAS.).
- Caudales equivalentes de Clement. Si el usuario estima que la red a estudio cumple las hipótesis adecuadas, (número elevado de hidrantes, valores del *Grado de Libertad* adecuados, etc.) le será de utilidad la elección de la opción de *Caudales Equivalentes de Clement* para asignar los *Caudales de Diseño*. GESTAR calculará el caudal de diseño de cada línea siguiendo la formulación establecida por *Clement*, cuya aproximación es la más utilizada para el caso de redes de distribución a demanda, lo que permitirá reducir los diámetros de las *Tuberías* a obtener en el proceso de dimensionado, y por tanto los costes de ejecución de la red. Al activar esta opción, se habilita el cuadro referente a la *Garantía de Suministro*, desde donde el proyectista debe fijar el parámetro de calidad de funcionamiento que desea dar a la red:
 - Garantía de Suministro Global. El usuario define el porcentaje de *Garantía de Suministro* de la red en la casilla correspondiente. El valor es constante para todas las *Tuberías*, siendo independiente del número de hidrantes que alimenta cada una de las líneas, incluyendo los ramales finales con un solo hidrante.

• Garantía de Suministro Selectiva. Activando esta opción, se despliega el cuadro de diálogo de la derecha de la FIGURA 8.4. Permite definir al usuario un escalonamiento de garantías según su criterio, en función del número de hidrantes que alimenta cada una de las *Tuberías*. Para aquellos elementos que abastezcan un número de hidrantes menor que el número a partir del cual se comienza a aplicar una garantía de suministro, el caudal de diseño coincidirá con el caudal acumulado. NO utilice el valor de Garantía de Suministro del 100% para indicar acumulación de caudales.

EJEMPLO: En la FIGURA 8.4 se ilustra la configuración del siguiente escalonamiento de Garantías de Suministro.

Caudal acumulado hasta 3 hidrantes (inclusive) aguas abajo.

Garantía de Suministro 99% a partir de 4 y hasta 19 hidrantes.

Garantía de Suministro 95% a partir de 20 y hasta 49 hidrantes.

Garantía de Suministro 90% a partir de 50 hidrantes en adelante.

• Etiqueta Nodo Inicial: Para cualquiera de las opciones de cálculo disponibles, será necesario detallar la *Etiqueta del Nodo Inicial*, esto es, el *Nodo* de cabecera, en el campo habilitado.

Cuando el proceso de determinación de Caudales de Diseño se lleve a cabo, aparecerá la ventana de la FIGURA 8.5. Desde ella se podrán realizar acciones de modificación y edición que a continuación se detallan.

Línea	Q Acumula	Q Clèment	Q Línea	Hid AA	Sup AA
	m3/s	m3/s	m3/s		Ha
TU8	0,012	0,0116	0,012	1	4,3268
TU9	0,024	0,0183	0,0183	2	8,6536
caudal c	le línea:	0.0130	0,0183		Guardar Cauda
TU13	0.028	0.0217	0.0217	2	10.4225
TU14	0.043	0.0293	0.0293	3	15,9876
TU15	0,06	0.0374	0.0374	4	22,1294
TU16	0,077	0,045	0,045	5	28,3492
TU17	0,106	0,0601	0,0601	6	38,9474
TU18	0,135	0,0737	0,0737	7	49,5455
TU19	0,256	0,1263	0,1263	11	92,6698
TU20	0,263	0,1283	0,1283	12	95,1437
TU21	0,314	0,1447	0,1447	15	113,3904
TU22	0,338	0,152	0,152	17	122,044
TUDD	0 338	0 152	0 152	17	122.044

FIGURA 8.5 Tabla Caudales en Línea.

- **Guardar.** Mediante este icono, el usuario podrá guardar los resultados obtenidos para cada *Tubería* referentes al caudal acumulado, caudal de *Clement*, caudal de diseño, número de hidrantes que alimenta y la superficie que riega, en ficheros formato de *.*sal* *.*xls* *.*txt*, que podrán ser editados posteriormente.
- Imprimir. Permite la impresión de la tabla de resultados desde cualquiera de los dispositivos de impresión configurados en el equipo.
- Editar Caudal de Diseño. Esta opción a la derecha abajo del cuadro de diálogo, aparecerá activa por defecto, puesto que es la única disponible en la versión actual. Al seleccionar uno de los identificadores de las *Tuberías* que conforman la red, se visualiza una casilla tal y como se observa en la FIGURA 8.5, que permite al usuario modificar manualmente valor del caudal de diseño para la *Tubería* elegida.
- Aplicar a la Red. Mediante este botón serán cargados a la *red actual* los resultados de los Caudales de Diseño recogidos en la tabla.
- **Cancelar.** Cuando el usuario no desee modificar la red con los resultados de caudal de línea obtenidos, pulsará el botón *Cancelar*, manteniendo los parámetros de la red tal y como se encontraban antes de iniciar el proceso de cálculo.
- **Personalizar Tabla.** Al pulsar este icono, el usuario accede al cuadro de diálogo de la FIGURA 8.6. Posibilita la delimitación de las *Tuberías* mostradas en la tabla con el fin de facilitar el análisis de resultados.

Filtro por Hidrantes	Filtro por Superficie
Rango Inferior	Rango Inferior
Rango Superior	Rango Superior
Añadir Intervalo	Añadir Intervalo
Borrar Todos	Borrar Todos
De 2 a 8 hidrantes	
 Y (debe pasar ambos filtro O (debe pasar uno de los 	os) Actualizar la tabla dos filtros) de caudales

FIGURA 8.6 Cuadro de Diálogo Personalizar Tabla de Caudales en Línea.

• Filtro por Hidrantes. Restringe la muestra de resultados a aquellas *Tuberías* que alimenten un número de hidrantes dentro del intervalo definido por el

usuario mediante las casillas *Rango Inferior* y *Rango Superior*. Se podrán especificar los intervalos que se deseen simultáneamente.

- **Filtro por Superficie.** El procedimiento de definición de este filtro es idéntico al *Filtro por Hidrantes*, mostrando en este caso las *Tuberías* que rieguen un número de hectáreas que se encuentre dentro de los intervalos añadidos.
- **Opciones de Personalización.** En el caso de que se implementen ambos filtros, GESTAR proporciona dos opciones de personalización de la tabla. La primera, *Y (debe pasar ambos filtros),* es más restrictiva, pues las *Tuberías* mostradas deberán cumplir ambos filtros. La segunda opción, *O (debe pasar uno de los dos filtros),* amplia la búsqueda a todas las *Tuberías* que cumplan al menos uno de los dos filtros.
- Actualizar la Tabla de Caudales. Una vez definidos los filtros, al seleccionar el botón *Actualizar la tabla de caudales*, desde GESTAR se presentará una ventana similar a la de la FIGURA 8.5, con las *Tuberías* que cumplan los requisitos de filtración precisados. Si se selecciona entonces el botón *Aplicar a la Red*, se cargarán a la red actual únicamente los resultados de caudal de línea para las Tuberías que han superado el proceso de filtración, esto es, los valores que se presentan en la tabla en ese instante.

8.3 COMPUTO DE GASTOS ENERGETICOS

Término de Energía.

En el proceso de dimensionado óptimo de sistemas alimentados por bombeo directo, el consumo de energía se computan de forma simplificada, suponiendo una *Curva de Consigna* plana (altura de impulsión constante, H_d , igual a la correspondiente a la presión de diseño para el caudal de diseño de la cabecera) y que el rendimiento conjunto de la estación de bombeo es un valor estimado asimismo constante (*Rendimiento Ponderado*), η_d , obteniendo una versión simplificada de la Ecuación 3-1 que computa el *Consumo Energético Simplificado (CES_{kwh}).*

$$CES_{kwh} = \int_{0}^{T} \frac{\rho \cdot g \cdot H(q) \cdot q}{\eta(q)} dt = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{d}}{\eta_{p}} \int_{0}^{T} q \cdot dt = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{d} \cdot V}{\eta_{p}}$$

V es el volumen a elevar durante la campaña, que junto al *Rendimiento Ponderado* de la estación de bombeo y el *Volumen* a bombear son los datos que el usuario ha de introducir, ya que H_d es objeto de cálculo de proceso de optimización.

El valor económico de esta energía se obtiene multiplicando los kWh necesarios por el precio del kWh. Puesto que el precio del kWh varía según el periodo horario de consumo, la expresión anterior se aplica sumando las contribuciones de los volúmenes bombeados en cada franja horaria (por ejemplo valle , llano punta, o en cada periodo P1, P2,....P6) con su precio del kWh correspondiente:

$$CES_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p} (V_v \cdot PkWh_v + V_{ll} \cdot PkWh_{ll} + V_p \cdot PkWh_p)$$

O lo que es lo mismo, multiplicando la estimación de la energía requerida en el periodo por el precio medio del kWh, ponderado según los volúmenes bombeados en cada periodo horario:

$$CES_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d}{1000\,3600\,\eta_p} (V_v \cdot PkWh + V_{ll} \cdot PkWh + V_p \cdot PkWh) = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot V}{1000\,3600\,\eta_p} \overline{PkWh}$$

En consecuencia, es equivalente suministrar a GESTAR los volúmenes bombeados en cada franja, y las tarifas aplicadas a cada una de ellas (en formas de recargos y descuentos correspondientes) que **adjudicar a una franja arbitraria todo el volumen bombeado y considerar un precio del** kWh **base que corresponda al precio medio ponderado en volumen del** kWh, **calculado previamente por el usuario.**

El precio medio del kWh ponderado en volumen se evaluará, en el caso de la discriminación en tres franjas horarias:

$$\overline{PkWh} = \frac{(V_v \cdot PkWh_v + V_{ll} \cdot PkWh_{ll} + V_p \cdot PkWh_p) \cdot V}{V}$$

y en el caso general, en que la tarifa de consumo se estructure en NP tramos, con precio de cada tramo $PkWh_i$ y volumen bombeado V_i en el tramo respectivo:

$$\boxed{\frac{PkWh}{PkWh}} = \frac{\sum_{i=1}^{NP} V_i \cdot PkWh_i}{V}$$

La expresión concreta que aplica GESTAR en el modulo de dimensionado óptimo para el computo de los precios del kWh en cada periodo es:

$$PkWh_{i} = PkWh_{base} \cdot (1 + \frac{IkWh_{i}}{100})$$

con:

*PkWh*_{base}: *Precio Base* kWh

*IkWh*_i: *Recargo / Descuento* del precio del kWh en el periodo en %

En función de estos parámetros la estimación del gasto en energía, utilizando *NP* periodos en la tarifa de energía es:

$$CES_{\in} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p} \sum_{i=1}^{N^p} V_i \cdot PkWh_{base} \cdot (1 + \frac{IkWh_i}{100}) \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnual}$$

Siendo:

 V_i : El Volumen (m³) elevado anualmente por la estación en cada periodo i

 K_{reac} : Coeficiente de potencia reactiva en función del cos φ .

$$\frac{K_{reac} = 1 + \frac{17/\cos \varphi^2 - 21}{100}}{\text{Si } \cos \varphi \ \text{ es } 0.8997} \text{ (valor por defecto), } K_{reac} = 1,47; \text{ Si } Kreac < 0.96; \text{ Kreac} = 0,96$$

 $K_{incAnual}$: Término de incremento anual del coste de la energía.

$$K_{incAnual} = \frac{(1 + Ian/100)^{T} - 1}{T Ian/100}$$
 Ian: Incremento anual del precio de la energía en %

Término de Potencia.

El *Coste del Término de Potencia* corresponde al coste total anual estimado del contrato de potencia del bombeo.

Para estimar la potencia máxima necesaria se utiliza la *Potencia Nominal Necesaria*, PNN_{kW} , que se asocia a la potencia requerida para bombear el caudal de diseño, Q_d , de la conducción de cabecera a la altura de presión nominal de diseño, H_d , con un rendimiento ponderado η_n .

$$PNN_{kW} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot Q_d}{1000 \, \eta_p}$$

Las tarifas eléctricas dividen habitualmente el día en diferentes periodos (P1,...P6), en los que el coste de cada kW de potencia contratada varía. Puesto que no necesariamente en todos los periodos en que se divide la tarifa de potencia es necesario contratar la potencia máxima necesaria, PNN_{kW} , el gasto se computa como suma del coste anual de los kW contratados en cada periodo según la tarifa eléctrica utilizada.

Para consignar en GESTAR la variación del precio de la potencia contratada, se introduce un *Precio Base de Potencia Contratada (PkW_{base})* que es el coste en \in por mes, del kW en un determinado periodo de referencia, y a continuación se indica el *Recargo del precio del* kW (y descuento, con signo negativo) en porcentaje respecto al *Precio Base de Potencia Contratada*, correspondiente a cada periodo, *IkW_i*.

$$PkW_{i} = PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_{i}}{100})$$

con:

 PkW_{base} : Precio base del kW por mes en el periodo de referencia

IkW_i: *Recargo/Descuento* % respecto del precio base del kW/mes en el periodo *i*

En función los conceptos enunciados GESTAR estima el coste anual de la potencia contratada, *CPC*; mediante la expresión:

$$CPC_{\epsilon} = \left(\frac{\rho \cdot g \cdot Q_{d} \cdot H_{d}}{1000 \cdot \eta_{p}}\right) \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_{i}}{100} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_{i}}{100}) \cdot 12 \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnual}$$

Siendo:

 R_i : Los Coeficientes de Reparto de la Potencia Contratada para el periodo i (%)

 K_{reac} : Término de potencia reactiva en función del cos φ

 $K_{incAnual}$: Término de incremento anual del coste de la energía

Alternativamente, puede prescindirse de la discriminación de periodos utilizando un precio constante del kW por periodo, obtenido como media ponderada con la potencia contratada:

$$\overline{PkW_{1/NP}} = \frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_i}{100} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100})$$

8.4 ASISTENTE OPTIMIZACIÓN DE LA RED

GESTAR facilita el dimensionado de redes estrictamente ramificadas, es decir una red sin mallas con un único punto de alimentación (cuya altura piezométrica puede conocerse o no).

El usuario accede al proceso de optimización mediante el comando *Dimensionar Red* del menú *Archivo* de GESTAR, o bien mediante el icono de la barra de herramientas. Será necesaria la generación previa de la red estrictamente ramificada que se desee dimensionar tal y como se especifica en el apartado 8.1, junto con la asignación a cada uno de los *Elementos Tubería* de los valores de los *Caudales de Diseño* (ver apartado 8.2).

Cuando se inicie el dimensionado por cualquiera de los procedimientos anteriormente señalados, aparecerá el cuadro de diálogo que se recoge en la FIGURA 8.7.

SESTAR 2008		23
¿Desea crear un fichero NUEVO de ent	trada para el proceso de OPT.	IMIZACIÓN?
	Si	No

FIGURA 8.7 Primer cuadro de diálogo dimensionado de la red

- Crear un fichero Nuevo de Entrada. Si el usuario decide crear un fichero NUEVO de entrada de datos, GESTAR utilizará en el proceso de dimensionado los parámetros habilitados en la *red actual* y la *base de datos de Material* asociada a ella. A continuación, se iniciará el asistente de OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS.
- Iniciar el proceso de optimización a partir de un fichero existente. Si no se desea crear un fichero NUEVO de entrada, aparecerá la ventana que se muestra en la FIGURA 8.8, desde la que se permite realizar la optimización a partir de un fichero *Input* existente y previamente generado por GESTAR (con formato GESTAR*.opt o TEXTO*.txt). Este tipo de archivos creados desde GESTAR pueden ser modificados por el usuario desde la propia aplicación en el caso *.opt (opción todavía no disponible) o desde editores de texto, caso *.txt, lo que facilitará la realización de ajustes puntuales en los parámetros de entrada, sin necesidad de repetir el paso por todas las etapas del asistente. Una vez seleccionado el archivo (*opt ó *.txt, GESTAR optimizará la red de manera directa, sin necesidad de ejecutar de nuevo el asistente que a continuación se detalla, lo que agiliza enormemente posteriores dimensionados para estudios de alternativas o análisis de sensibilidad a parámetros determinados.

🎍 Organizar 👻 🏢 Vist	as 🔽 📑 N	ueva carpeta			2
Vinculos favoritos Cambiados reciente Documentos Sitios recientes Escritorio Equipo Inágenes Múcica	Camarle Camarle Cocume	recha de capitira entacion GESTAR 10 junio 2008 na_Gestar s	Euquetas	Tamano	,
Búsquedas Acceso público Carpetas			Colored I		<u>, </u>

FIGURA 8.8. Abrir fichero de entrada OPTIMIZACIÓN

ASISTENTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS

Como ya se ha comentado, si el usuario decide crear un nuevo fichero de entrada a partir de la *red actual*, se iniciará el asistente de OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Desde todas las ventanas del asistente, mediante los botones habilitados en la parte inferior, se podrá *Cancelar* el proceso de dimensionado, pasar al *Siguiente* cuadro de diálogo cuando se hayan rellenado las casillas obligatorias, o modificar datos en ventanas previas del asistente a través del botón *Anterior*.

Con los datos del fichero de entrada, GESTAR discernirá entre dos casos:

- La presión de cabecera es dato (ver ejemplo de la FIGURA 8.1). Quedarán inactivos los pasos 6 y 7 del asistente, puesto que sirven para definir los parámetros de la estación de bombeo, *Elemento* incoherente con este supuesto.
- Existe un *Elemento Bomba* en cabecera (ver ejemplo de la FIGURA 8.2). Se interpreta que la red se alimenta mediante bombeo y se activan los pasos del asistente referentes a la *Estación de Bombeo y Tarifas Eléctricas*.

PASO 1: TÍTULO DEL PROYECTO. ARCHIVOS.

El primer cuadro de diálogo del asistente se dedica a la especificación de los datos necesarios para guardar el archivo de entrada, facilitando además la posible selección de diversas opciones que a continuación se detallan.

Opciones	Ruta Base de Datos de Tuberías: C:\Program Files\Gestar2010\SEG-BdD\Tuberias\Pipes_Worked-ex.mdl	Ь
Asignar caudales		
Datos Cabecera	Compatible con Archivos Entrada *txt de versi	ones anteriores
Presiones Requeridas	Ruta creación de Archivo Entrada Optimización:	
Restricciones	C:\Users\susana\Desktop\entrada tirar.txt	Examinar
Estación Bombeo	Título Proyecto:	
Tarifas Eléctricas	1	
Parámetros Desfavorables		
Materiales	✓ Método Optimización Mejorado	
Terminar	🔽 Señalar Nodo Crítico	

FIGURA 8.9 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 1: Título del Proyecto. Archivos.

- Ruta de Base de Datos Tuberías. En la parte superior del cuadro de diálogo, se detalla la ruta donde se encuentra la base de datos de *Material* asociada a la *red actual*, que se empleará en el proceso de cálculo.
- Compatible Archivos input*.txt de Versiones Anteriores. En próximas versiones de GESTAR se crean los archivos de entrada en formato binario GESTAR2008*.opt exclusivamente, que podrán ser consultados desde el asistente (opción aún no disponible). Seleccionando esta opción (aparece activa por defecto), el archivo será guardado todavía en formato TEXTO*.txt, como ocurría en las versiones anteriores, lo que posibilitará al usuario su lectura desde cualquier editor de texto.
- Ruta Creación Archivo Input Optimización. El usuario fijará desde esta casilla el nombre del archivo de entrada. GESTAR guardará el archivo por defecto en la carpeta donde se encuentre la *red actual*. Esta ruta podrá modificarse a través del botón *Examinar*, que aparece a la derecha de la casilla.

*RECOMENDACIÓN: El nombre del archivo de entrada no contendrá puntuación o símbolos repetidos. En caso contrario, finalizado el asistente, se recibirá un mensaje de error, no llevándose a cabo la optimización.

- ◆ Título de Proyecto. El usuario puede rellenar de forma opcional esta casilla con el título del proyecto en curso, para que éste aparezca en el documento de salida de resultados.
- Método de Optimización Mejorado. El usuario podrá solicitar la optimización de la red mediante el Método de la Serie Económica, derivado de DIOPCAL, o bien mediante un algoritmo mejorado, que sintetiza una generalización del Método de la Serie Económica y un procedimiento tipo discontinuo *Labye* (Labye *et al.* 1988).
- Señalar 1ª serie. Al activar este apartado, finalizada la optimización, el usuario recibirá información acerca del punto de la red con condiciones de suministro limitantes, indicando el trayecto desde la cabecera al *Nodo* desfavorable. Esta advertencia será de gran utilidad, puesto que estos valores pueden condicionar sobremanera los resultados obtenidos en toda la red, permitiendo hallar reducciones de costes mediante la minoración de la presión de consigna en dicho *Nodo*. El *Nodo*

indicado será el siguiente candidato a reducir la presión requerida en pos de reducir los costes de la red.

PASO 2: REVISAR CAUDALES.

Opciones	Tipo Cau	dal Diseño		
Asignar caudales	ID Tube	Q Diseño (m3/s	Sup AA (ha)	Revisar Coudales
Datos Cabeceia	TU1	0,043	15,31	Disein
Disartan da Disarta da S	TU2	0,106	43,12	
Presiones Requeridas	TU3	0,106	37,84	
Restricciones	TU4	0,063	22,53	
Ectación Rombao	TU5	0,02	7,22	
Estación Dombeo	TU6	0,043	15,31	
Tarifas Eléctricas	TU7	0,007	2,47	
Parámetros Desfavorables	TU8	0,012	4,33	
Faranieuros Deiravorables	TU9	0,024	8,65	
Materiales	TI 110	1,016	5,75	-
Terminar	1			s <u>trana</u> Granifi

FIGURA 8.10 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 2: Revisar Caudales.

El segundo cuadro de diálogo del asistente permite comprobar el valor del caudal de línea asignado a cada uno de los *Elementos*. Para la versión actual de GESTAR no se encuentra implementada el botón *Revisar Caudales*, siendo necesario cancelar la ejecución del asistente para la realización de posibles cambios. Estas modificaciones se podrán realizar de diversos modos, siendo las más habituales desde el cuadro de diálogo de los *Elementos Tubería* (empleando las diversas herramientas GESTAR que permiten seleccionar uno o varios *Elementos*), o bien accediendo desde el menú *dimensionar* a la opción *Caudales de diseño*.

Ondianas	Datos Cabecera:
Optiones	ID Nodo: Cota: Presión Regulada:
Asignar caudales	0 460 m ? mca
Datos Cabecera	C Presión Conocida Altura Piezométrica
Presiones Requeridas	Presión Desconocida ? mca
Restricciones	
Estación Bombeo	Editar Aceptar Cancelar
Tarifas Eléctricas	
Parámetros Desfavorables	Pendientes:
	Pendiente Nodo Crítico: 0,0015
Materiales	
Materiales	Pendien. Hid. Min (Bifurcaciones): 0,0015

PASO 3: DATOS DE CABECERA

FIGURA 8.11 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 3: Datos de Cabecera

• Datos de Cabecera. Quedará hábil una u otra opción de las que a continuación se detallan, en función de la topología de la red a análisis.

- **Presión Conocida.** Para el caso de redes sin *Elemento Bomba* en cabecera (alimentación por gravedad). GESTAR carga los valores definidos en el *Nodo* de cabecera referentes al *Identificador, Cota, Presión Conocida y Altura Piezométrica.* Seleccionando el botón *Editar,* el usuario podrá acceder a cada una de las celdas y modificar cada uno de estos datos.
- **Presión Desconocida.** Para el cálculo de redes con *Elemento Bomba en cabecera*. Los valores de *Presión Conocida* y *Altura Piezométrica* aparecerán como incógnitas. El usuario podrá *Editar* los datos tal y como se ha explicado en la opción anterior.

• Pendientes.

- Pendiente Bifurcaciones. En los *Nodos* con bifurcaciones existe un requerimiento de presión mínima que es corresponde con la mayor presión necesaria para llegar a todos los *Nodos* extremos que se alimentan desde la bifurcación con la altura piezométrica requerida, tomando una pendiente hidráulica mínima 0,0015 m/m.. Se ha observado que si se relaja el valor de esta pendiente mínima, en ocasiones el resultado final tenderá a ser más económico. Desde esta opción se permite a usuarios expertos retocar el requerimiento de altura piezométrica en los *Nodos* correspondientes a ramificaciones, en términos de modificar dicha a *pendiente hidráulica mínima* para alcanzar las alturas piezométricas requeridas en todos los *Nodos* con requisito de presión y que se alimentan desde una bifurcación concreta. Recomendación: Tantear con valores entre 0,002 y 0,0001 m/m
- Pendiente 1^ª senda. De uso exclusivo para el caso de redes con bombeo • directo. Para la estimación de la altura de cabecera en primera aproximación, el proceso de optimización utiliza una pendiente hidráulica fija para todos los Nodos de la red, de manera que el Nodo crítico es el que mayor altura necesita en cabecera, con dicha pendiente supuesta. El usuario experto podrá modificar el valor de la Pendiente (hidráulica) de la 1ª senda, que podría conducir a obtener Nodos críticos diferentes para alturas de cabecera distintas, lo que puede aportar soluciones de la optimización ligeramente mejoradas en alguna ocasión. **RECOMENDACIÓN:** Dimensionar las redes con bombeo directo mediante la minimización, resultante de un proceso de barrido, con diferentes alturas en cabecera impuestas, de la suma de costes de amortización de las Tuberías y de los gastos energéticos. Mediante tal estrategia este parámetro deja de intervenir.

PASO 4: PRESIONES MÍNIMAS

Las presiones mínimas solicitadas por el usuario para realizar la optimización, serán evidentemente un factor decisivo en el cálculo del dimensionado y la obtención de los resultados.

	Presiones Requeridas:
Opciones	C P. Min común en todos los Hidrantes Pmin: mca
Asignar caudales	C P. Min común en todos los Nodos extremos
Datos Cabecera Presiones	C P. Min común en todos los Nodos Presión de Consigna en los Hidrantes abiertos con Regulación activa
Restricciones	→ PMIN común en nodos sin consumo
Estación Bombeo Tarifas Eléctricas	PMIN común en nodos sin consumo PMIN según pendiente hidraúlica
Parámetros Desfavorables	P. Min en Nodos concretos
Materiales	Nudo: Pmir mca
Terminar	

FIGURA 8.12 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 4: Presiones mínimas

Desde GESTAR se facilitan cuatro opciones EXCLUYENTES entre sí. Para las tres primeras, el usuario deberá fijar la presión mínima en m.c.a. en la casilla habilitada a la derecha.

- Presión Mínima Común en todos los Nodos de Consumo. La presión mínima fijada será tenida en cuenta en el proceso de cálculo únicamente para los *Nodos* de *Consumo Conocido*.
- **Presión Mínima Común en todos los Nodos Extremos.** El valor de presión mínima afectará exclusivamente a los *Nodos* de final de línea.
- Presión Mínima Común en todos los Nodos. La presión mínima asignada se relacionará tanto a los *Nodos* de *Consumo Conocido* como a *Nodos* de *Unión*, resultando pues la opción más exigente.
- Presión de Consigna en los Hidrantes. En este caso será necesario que el usuario haya activado la casilla referente a regulación en los Nodos de Consumo Conocido o Hidrante Regulador, detallando la presión de consigna para cada uno de los Nodos que desee sean considerados en el proceso de optimización.
- Presión Mínima en Nodos Concretos. Desde este cuadro de diálogo se podrán introducir requerimientos de presión mínima en determinados nudos. Se introducirán el número identificador del nudo y la presión mínima en m.c.a. para cada pareja de datos. Su uso es FACULTATIVO y COMPATIBLE con cualquiera de las alternativas anteriores. Los parámetros que se rellenen en esta opción no se SOBRESCRIBIRÁN sobre la *red actual*, quedando reflejados exclusivamente en los ficheros de entrada y salida de resultados generados en el proceso de optimización. Será de utilidad para asignar presiones mínimas a *Nodos* de paso así como realizar cambios puntuales en la presión de consigna.

PASO 5: RESTRICCIONES

Para que el asistente continúe con el proceso de optimización, se solicitan los límites de diseño que debe fijar el proyectista para la velocidad de circulación del fluido en los conductos, así como diversos datos económicos.

Estación Bombeo Farifas Eléctricas Parámetros Desfavorables		
^p arámetros Desfavorables Materiales	– Datos Amortización: – – – – – – – – – – – – – – – – – – –	 1

FIGURA 8.13 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 5: Restricciones

- ♦ Velocidad.
 - Velocidad Mínima. En esta casilla deberá precisarse la velocidad mínima admisible, en m/s, de manera que sirva de alarma para indicar situaciones donde la pérdida de carga admisible (relacionada con la velocidad) es demasiado reducida.
 - Velocidad Máxima. Se impone la velocidad máxima permisible con el fin de que no existan problemas de erosión, cavitación y transitorios en las conducciones. Los costes globales de la red serán sensibles a este parámetro, reduciéndose conforme la velocidad máxima se incrementa. No obstante, deberá considerarse a su vez que el aumento de este valor repercutirá directamente en la fiabilidad de la instalación. Un análisis detallado de transitorios en la red permitirá conocer este máximo admisible de manera que sea lo más alto posible, sin comprometer la seguridad de la misma.
- Tuberías Instaladas. En el caso de que existan tramos de la red ya ejecutados o provenientes de una anterior optimización cuyo diámetro no se quiera modificar, se podrán bloquear activándolos como *Tubería Instalada* en el cuadro de diálogo de la FIGURA 8.14. Los datos de *Diámetro Interior* (mm), *Longitud* (m) y *Rugosidad* (mm) habrán de ser definidos anteriormente, durante el proceso de generación de la red, puesto que en esta ventana únicamente se podrán comprobar estos parámetros.
| ID | INSTALADA | D.Int(mm) | L (m) | Ru(mm) |
|------------|-----------|-----------|-------|--------|
| U2 | | 148 | 180 | 0,1 |
| U1 | | 110 | 80 | 0,1 |
| U3 | | 110 | 12 | 0,1 |
| U6 | | 115 | 248 | 0,1 |
| U5 | | 238 | 274 | 0,1 |
| U8 | | 97 | 24 | 0,1 |
| U7 | | 110 | 13 | 0,1 |
| U10 | | 97 | 19 | 0,1 |
| U 9 | | 97 | 116 | 0,1 |
| U12 | | 97 | 76 | 0,1 |
| U11 | | 110 | 54 | 0,1 |
| U13 | | 110 | 50 | 0,1 |
| U16 | | 97 | 221 | 0,1 |
| U15 | | 123 | 72 | 0,1 |
| U18 | | 97 | 180 | 0,1 |
| U17 | | 97 | 76 | 0,1 |
| U19 | | 97 | 290 | 0,1 |
| U22 | | 97 | 392 | 0,1 |
| U21 | | 110 | 233 | 0,1 |
| U24 | | 90 | 239 | 0,1 |
| 1123 | | 97 | 187 | 0 1 |

FIGURA 8.14. Definición Tuberías Instaladas

- Datos Amortización.
 - Años Amortización. En esta casilla deberá formularse el *plazo de amortización* de la inversión, esto es, los años de vida útil considerados para la instalación proyectada, según el criterio del usuario. En los casos con presión en cabecera desconocida, puede plantearse la disyuntiva de cuál es el plazo de amortización a rellenar, si bien el de las *Tuberías* o el de los equipos de bombeo. Éste último suele ser inferior, pero su coste no interviene significativamente en el proceso de optimización no sólo porque su importe es de índole menor en comparación con al red, sino porque también lo es su dependencia con la altura de impulsión, aconsejando la definición del periodo de amortización de las *Tuberías*.
 - Interés Amortización. Del mismo modo, el usuario deberá fijar el tipo de interés de amortización esperado, expresado en forma de porcentaje.

PASO 6: ESTACIÓN DE BOMBEO

En los casos de redes generadas con un *Elemento* bomba en cabecera, se activan los cuadros de diálogo referentes a la *Estación de Bombeo y Tarifas Eléctricas*.

Asistente OPTIMI	ZACIÓN DIÁMETROS - Paso 6: Estación Bombeo
Opciones Asignar caudales Datos Cabecera Presiones Requeridas Restricciones Estación Bombeo Tarifas Eléctricas Parámetros Desfavorables Materiales Terminar	Estación de Bombeo Rend. % 70 Co: (ψ) 0.8997 Volumen(m3) P1 P2 P3 P4 P5 P6 Total 561402,4 561402,4 561402,4 Calcular Volumen: Área Total (ha) 122,044 Calcular Caudal de Diseño (m3/s) 0,154 Dotación Anual Red m3/ha 4600
	Cancelar < Anterior Siguiente > Finalizar

FIGURA 8.15 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 6: Estación de Bombeo

• Estación de Bombeo

- **Rend. %.** Deberá fijarse en esta casilla el rendimiento ponderado de la estación de bombeo en porcentaje. (Por defecto se aplica un valor del 70%).
- Cos (φ). Desde esta casilla el usuario introducirá el valor del *factor de potencia reactiva* de la estación. El valor por defecto asignado desde el programa GESTAR es de 0,8997, que no supone ni recargo ni desscuento.
- Volumen (m³). Se especificará el volumen estimado que se bombea anualmente en cada periodo tarifario, *Vi*, de manera que si el volumen anual a bombear es *V*:

$$V = \sum_{i=1}^{NP} V_i$$

• Calcular Volumen. Si se desconoce el volumen bombeado anualmente, V, se permite que sea evaluado desde GESTAR, en función de la superficie total regada y a dotación anual en m³/ha. El volumen calculado se ubica en una franja arbitraria, por defecto P1, y puede ser posteriormente redistribuido entre las diferentes periodos de tarifas según la estimación del usuario.

PASO 7: TARIFAS ELÉCTRICAS

Como ya se ha apuntado, la definición de esta ventana será necesaria únicamente en el dimensionado de redes con equipo de bombeo en cabecera.

Asistente OPTIMI	ZACIÓN DIÁMETROS - Paso 7: Tarifas Eléctricas
Opciones	Tarifa eléctrica: Personalizada Tarifas Incremento Anual del Cocte Energía % 0
Asignar caudales	
Datos Cabecera	Precio Base del kWh: € 0,06527 Tipo Discriminación Personalizada ▼
Presiones Requeridas	P1 P2 P3 P4 P5 P6
Restricciones	Recargo precio Kwh % 0 0 0 0 0 0 0
Estación Bombeo	Tipo
Tarifas Eléctricas	Precio Base Potencia Kw : 0,49 Discriminación Personalizada ▼ (€/kW mes y periodo)
Parámetros Desfavorables	P1 P2 P3 P4 P5 P6
Materiales	Recargo precio Kw% 0 0 0 0 0 0
Terminar	Reparto potencia % 100 100 100 100 100 100
	Cancelar < Anterior Siguiente > Finalizar

FIGURA 8.16 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 7: Tarifas Eléctricas

• Incremento Anual de Coste de la Energía (%): Incremento anual en % de los precios base de las tarifas (energía y potencia) durante el periodo de amortización de la inversion, *Ian*. Supuesto constante en todos los años.

Precio Base del kWh y del kW en el periodo de referencia:

- Precio Base del kWh (€/kwh): Se especificará el valor del parámetro *PkWh_{base}* (precio del kWh en el periodo de referencia) utilizado en la expresiones del apartado 8.3 para el cómputo del coste energético. En caso de no usar el reparto de volúmenes en periodos (todo el volumen anual asignado a un solo periodo en el PASO 6), se introduce como *Precio base* kWh, *PkWh_{base}*, el coste medio ponderado en volumen, *PkWh* (ver apartado 8.3), y se establecerán valores de recargo nulos (0%) para el *Recargo del Precio kWh* en todos los periodos de la FIGURA 8.16FIGURA 8.16.
- Precio Base de Potencia kW (€/kw mes): Se especificará el precio base del Kw contratado en el periodo de referencia, PkW_{base}, utilizado en el computo de las expresiones del apartado 8.3 para el cálculo del coste energético. En caso de no discriminar la potencia contratada en los distintos periodos, es decir 100% de Potencia Noninal Necesaria

$$PNN_{kW} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot Q_d}{1000 \, \eta_p}$$

disponible formalmente en todos los periodos, se introduce como *Precio* base kW en el periodo de referencia, PkW_{base} , el coste medio ponderado en

potencia contratada, \overline{PkW} (ver apartado 8.3), y se establecerán valores de recargo nulos (0%) para el precio del kW en todos los periodos del *Recargo Precio Kw* en la FIGURA 8.16

• **Tipo de Precios Base**: Se selecciona una combinación de $PkWh_{base}$ y PkW_{base} de entre las registrados en base de datos de *Tarifas Eléctricas*, o bien, se permite una introducción manual de los mismos seleccionando el valor "*Personalizada*" (elección por defecto).

Recargos del kWh por periodos (P1 a P6):

• **Recargo Precio kwh (%) :** Si para el cómputo de los costes energéticos en el paso anterior PASO 6, se ha optado por repartir el volumen anual elevado *V*, en distintos periodos de tarificación, *V_i*, de manera que:



deberán indicarse los coeficientes de recargo del kWh (y descuentos, con signo negativo), *IkWhi*, en %, aplicados a cada periodo respecto al *Precio Base del* kWh, de manera que la expresión del *Coste Energético Simplificado*, CES_{ϵ} , se calcula:

$$CES_{\epsilon} = \sum_{i=1}^{NP} \frac{\rho \cdot g \cdot H_{d} \cdot V_{i}}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_{p}} PkWh_{base} \cdot (1 + \frac{IkWh_{i}}{100}) \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnual}$$

Siendo:

 V_i : *Volumen* (m3) elevado anualmente por la estación en cada periodo *i*

*PkWh*_{base}: *Precio Base* kWh

IkWh_i: *Recargo / Descuento* del precio del kWh en el periodo en %

 $K_{\textit{reac}}$: Término de potencia reactiva en función del cos φ .

 $K_{incAnual}$: Término de incremento anual del coste de la energía.

• **Tipo de Discriminación**: Se selecciona un tipo de distribución de recargos por periodo, de entre los registrados en base de datos de *Tarifas Eléctricas*, o bien, se permite una introducción manual de los mismos seleccionando el valor "*Personalizada*" (elección por defecto).

Recargo del Precio del kW por Periodos (P1 a P6):

Recargo Precio kwh (%): Si para el computo del coste de la potencia contratada se especifican *Repartos de Potencia* contratada no uniformes, distintos del 100% en todos los periodos, deberán indicarse los coeficientes de *Recargo del precio del* kW (y descuento, con signo negativo) respecto al *Precio Base de Potencia Contratada*, correspondiente a cada periodo, *IkW_i* (%).FIGURA 8.16. GESTAR estima el coste anual de la potencia contratada, *CPC_e*; mediante la expresión:

CPC _€ =	$\left(\frac{\rho \cdot g \cdot Q_d \cdot H_d}{1000 \cdot \eta_p}\right)$	$\left \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_i}{100} \cdot F \right $	$PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_{i}}{100}) \cdot 12 \cdot K_{reac} \cdot K_{incAnu}$	al
--------------------	---	---	---	----

Siendo:

 R_i : Los Coeficientes de Reparto de la Potencia Contratada (%) para el periodo i

 PkW_{base} : Precio base del kW por mes en el periodo de referencia

 IkW_i : Recargo/Descuento (%) del precio base del kW/mes en el periodo i

 K_{reac} : Término de potencia reactiva en función del cos φ .

 $K_{incAnual}$: Término de incremento anual del coste de la energía.

• **Tipo de Discriminación**: Se selecciona un tipo de distribución de recargos por periodo, de entre los registrados en base de datos de *Tarifas Eléctricas*, o bien, se permite una introducción manual de los mismos seleccionando el valor "*Personalizada*" (elección por defecto).

Reparto de la potencia contratada por periodos:

Reparto por Periodos (%): Coeficientes de Reparto de Potencia del Periodo i, R_i, que corresponde al % de potencia contratada en cada periodo respecto a la Potencia Nominal Necesaria, PNN_{kW} para bombear el caudal de diseño, Q_d, de la conducción de cabecera a la altura de presión nominal de diseño, H_d, con un rendimiento ponderado η_p.

$$PNN_{kW} = \frac{\rho \cdot g \cdot H_d \cdot Q_d}{1000 \, \eta_p}$$

Con los *Coeficientes de Reparto de la Potencia Contratada*, es posible considerar una contratación uniforme en todos los periodos e igual a PNN_{kW} ($R_i = 100\%$ en todos los periodos) o bien suponer que en determinados periodos más costosos, se va utilizar menos potencia. Para

configurar periodos no contratados, el respectivo *Coeficiente de Reparto de la Potencia Contratada* será 0%.

Si se desea consignar una potencia contratada superior a PNN_{kW} , por ejemplo para contemplar potencia consumida por equipos, perdidas, margen de seguridad, pueden indicarse valores de R_i superiores al 100%.

Alternativas a la introducción de repartos y recargos por periodos de potencia y energía mediante uso de valores medios ponderados:

Alternativamente a la especificación por el usuario de los coeficientes individuales, $IkWh_i$ y volúmenes V_i , y en el caso general, en que la tarifa de consumo se estructure en NP tramos, puede utilizarse como *Precio Base del* kWh ($PkWh_{base}$) el precio medio ponderado en volumen, calculándolo previamente como:

$$\boxed{\frac{PkWh}{PkWh}} = \frac{\sum_{i=1}^{NP} V_i \cdot PkWh}{V} (1 + \frac{IkWh}{100})}{V}$$

a la par que se anulan los recargos/descuentos de la tarifa en todas las casillas de la FIGURA 8.16.

Alternativamente a la especificación por el usuario de los coeficientes individuales, IkW_i y R_i , puede introducirse directamente, como *Precio Base del* kW (PkW_{base}) por mes y periodo, el precio medio del kW (por mes y periodo) ponderado con la potencia contratada en cada periodo, $\overline{PkW}_{1/NP}$, calculándola previamente mediante la expresión:

$$\overline{PkW}_{1/NP} = \frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{NP} \frac{R_i}{100} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_i}{100})$$

a la par que se establece entonces, como reparto de potencia contratada, $R_i = 100\%$ en todos los periodos, y se anulan los recargos/descuentos $IkW_i = 0\%$ en todas las casillas de la FIGURA 8.16. También, puede eliminarse la división por el factor 1/NP, obteniéndose el precio medio del kW por mes, pero a cambio, el reparto de potencia será del 100% en un determinado periodo (p.e. P1, $R_1 = 100\%$) y el resto de valores R_i nulos, 0%.

En el caso en que, además, la potencia contratada en todos los periodos sea la misma (R_i constante) e igual al 100% de PNN_{kW} , \overline{PkW} queda:

$$\overline{PkW}_{1/NP} = \frac{1}{NP} \sum_{i=1}^{NP} \cdot PkW_{base} \cdot (1 + \frac{IkW_{i}}{100})$$

Es decir, el precio medio del kW (por mes y periodo) ponderado con la potencia contratada en cada periodo, es sencillamente, la suma de los precios por kW y mes de las potencias en cada periodo, extendida a todos los periodos y dividida entre el numero de periodos.

Ejemplo de aplicación:

- ◆ *Precio Base del* kWh: Precio base, por ejemplo, del periodo más barato. 0,054 €kWh.
- ◆ *Precio: Base Potencia Contratada*, por ejemplo, el del periodo más barato, 0,1 €kW por mes.

	P1	P2	Р3	P4	Р5	P6
Reparto Volumen (m3)	62.408	124.817	303.129	303.129	900.472	2.763.825
Reparto Volumen (%)	1,4	2,8	6,8	6,8	20,2	62
Energía Recargos (%)	110	90	70	30	10	0
Reparto Potencia (%)	30	30	50	50	100	100
Potencia Recargo s (%)	80	50	40	40	10	0

Los parámetros equivalentes a esta especificación, utilizando valore medios ponderados para el precio del kWh consumido y del Kw contratado, serían

• Precio Base del kWh (Precio medio kWh ponderado en volumen consumido en cada periodo):

 $\overline{PkWh} = 0,054 \in kWh^{-1}(0,620 \cdot 1,0 + 0,202 \cdot 1,1 + 0,068 \cdot 1,3 + 0,068 \cdot 1,3)$

 $0,068 \cdot 1,7 + 0,028 \cdot 1,9 + 0,014 \cdot 2,1) = 0,060955$ €kWh.

- ◆ El volumen anual total, 4.457.783 m3, se asigna íntegramente al primer periodo P1. siendo los recargos del precio de la energía nulos en todos los periodos: 0%, 0%, 0%, 0%, 0%, 0%
- ◆ *Precio Base Potencia Contratada*: (Precio medio kW mes y periodo ponderado en potencia contratada en cada periodo):

 $\overline{PkW}_{1/6} mes - y - periodo = \frac{1}{6} 0, 1 \in kW^{-1} \cdot (1, 0, 1, 0, +1, 0, 1, 1, +0, 5, 1, 4 + 0, 5, 1, 4 + 0, 3, 1, 5 + 0, 3, 1, 8) = 0,449 / 6 = 0,074833 \in kW mes y periodo$

- ◆ Recargo precio base potencia contratada: 0%, 0%, 0%, 0%, 0%, 0%
- ◆ Reparto potencia contratada: 100%,100%, 100%, 100%, 100%, 100%,

Base de Datos Tarifas Eléctricas.

Edición Tarifas Eléctricas:

Se dispone de una ventana de acceso donde se visualizan y gestionan los datos de la base de datos de *Tarifas Eléctricas*, donde se almacenan los precios de la energía y la potencia, así como diferentes discriminaciones de precios de ambos términos de la facturación. Estos datos pueden ser seleccionados en el paso 7, que estamos tratando en este apartado. El botón "Tarifas" (FIGURA 8.16) da acceso a esta herramienta de gestión de Tarifas Eléctricas (FIGURA 8.17), que se describe en el apartado 11.7 BASES DE DATOS DE TARIFAS ELÉCTRICAS.

🛙 Tarifas Eléctricas 🛛 🛛 🔀
Precios Base: Código Tarifa R.1 ALTA TENSIÓN. Riegos Agrícolas (38 k 2009 2009 R.3 ALTA TENSIÓN. Riegos Agrícolas (>72, 5 Precio Base Potencia Kw : Precio Base del kWh: R.0 BAJA TENSIÓN. Riegos Agrícolas (€/kW mes y 0,112 € 2009 2009 (€/kW mes y 0,112 €
Añadir Modificar Eliminar Aceptar Cancelar
Codigo Tipo Codigo Tipo DH2 Doble Tarifa DH3 Triple Tarifa (sin festivos) DH4 Triple Tarifa (con festivos) P1 P2 P3 P4 P5 P6 P1 P2 P3 P4 P5 P6 Añadir Modificar Eliminar Aceptar Cancelar
Tipo Discriminación Horaria (Potencia): Código Tipo Codigo Tipo 001 Prueba
Recargo precio Kw% P1 P2 P3 P4 P5 P6 Añadir Modificar Eliminar 50 20 0 0 10

FIGURA 8.17 Cuadro de Edición Tarifas Eléctricas y Discriminaciones horarias.

PASO 8: PREVISIONES DESFAVORABLES

Mediante este cuadro de diálogo se otorga al proyectista la posibilidad de definir una serie de márgenes de seguridad en aquellos presupuestos que exista incertidumbre con respecto a la situación real o no hayan sido definidos en la red generada previamente. El asistente de dimensionado permite establecer simultáneamente criterios mayorantes genéricos, aplicados a todos los tramos de la red, y tramo a tramo en *Tuberías* específicas.

Opciones Asignar caudales Datos Caberera	 ✓ Longitud Equivalente Añadida Global % ✓ Definir Longitud Equivalente por Tubería 	4 Definir
Presiones Requeridas Restricciones	Rugosidad Forzada:	_
Estación Bombeo Tarifas Eléctricas	Definir Rugosidad por Tubería	Definir
P arámetros Desfavorable Materiales Terminar	Incremento Presión Estática para Timbraje Incremento Global (m) 10 Definir Incremento por Tuberías	Definir

FIGURA 8.18 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 8: Previsiones Desfavorables.

- Pérdidas singulares. Permite definir longitudes equivalentes para incorporar las perdidas de carga singulares.
 - Longitud Equivalente Añadida Global, o bien de manera global (como porcentaje a añadir a la longitud definida en cada tramo) una longitud equivalente, para incorporar la existencia de pérdidas singulares específicas.
 - **Definir Longitud Equivalente por Tramos**. Facilita imponer en cada tramo de la red (a través de la ventana de la FIGURA 8.19) una longitud equivalente, quedando inutilizada para el dimensionado la longitud especificada para ese *Elemento* en la *red actual* (sin SOBRESCRIBIRLA).

ID	Longitud(m)	Longitud Eq. (m)	
TU2	179,79	0	
TU1	80,07	0	=
TU3	12,38	0	-
TU6	247,69	0	
TU5	274,09	0	
TU8	23,70	0	
TU7	12,67	0	
TU 10	18,69	0	
TU9	116,19	0	
TU12	76,19	0	
TU11	53,85	0	
TU13	50,13	0	
TU 16	220,87	0	
TU15	71,56	0	
TU 18	180,42	0	
TU17	76,00	0	
TU 19	290,36	0	
TU22	391,77	0	
TU21	233,02	0	
TU24	239,45	0	
1123	187 09	n	*

FIGURA 8.19 Definir Longitud Equivalente por Tramos

- **Rugosidad Forzada.** De manera similar al caso anterior, se permite establecer, de forma global o a un grupo de *Tuberías*, *Rugosidad*es distintas de las consignadas en la base de datos de tuberías para cada *Material* en fase de optimización.
- Incremento de la Presión Estática para Timbraje. El incremento de la presión estática para el *Timbraje* de las *Tuberías* se puede establecer de manera global y por tramos de *Tubería*, lo que permite refinar y reducir eventualmente el coste de la red, si mediante un análisis de transitorios en la red se ajustan por zonas o tramos los incrementos de presión respecto a la estática de acuerdo a los valores máximos de sobrepresión calculados en el transitorio de la red.

PASO 9: MATERIAL

GESTAR utilizará como base de datos de *Material* que se encuentra asociada a la red, en formato Microsoft ACCESS 97

Opciones	Materiales Dis	ponibles:	Materiales a Utilizar:	
Asignar caudales Datos Cabecera Presiones Requeridas Restricciones Estación Bombeo Tarifas Eléctricas Parámetros Desfavorables Materiales Tarrinar	PVC PVCO FD	>	PVC PVCO	Rango Diámetros Interiores(m) Min Max Aceptar Rango Presiones da Trabajo: Min Max 250 - 250 Aceptar

FIGURA 8.20 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 9: Material.

- Material Disponibles. En la lista de selección aparecen todos los *Material* definidos desde la base de datos asociada a la red.
- **Material a Utilizar.** El usuario incluirá en esta lista los *Material* que solicita se tengan en cuenta en la optimización a partir de la lista de *Material* disponibles.
- **Rango de Diámetros Interiores.** Esta opción permite restringir el tamaño de las *Tuberías* que se tendrán en cuenta en la optimización para cada uno de los *Material*.
- **Rango de Presiones de Trabajo.** Permite limitar la *Base de Datos de Tubería* que formarán parte de la optimización para el *Material* seleccionado desde el listado de *Material a utilizar* en función de la Presión de Trabajo que pueden soportar.

.Como ya se ha comentado en el apartado 8.1, al realizar las recomendaciones para la generación del *Elemento Tubería*, una correcta definición de los *Material* que entran en el proceso de optimización económica será de vital importancia para la obtención del dimensionado óptimo.

Opciones	iATENCIÓN! Para proceder a la creación del Archivo de Entrada para el Módulo			
Asignar caudales	de Optimización presiónar el botón Terminar Los datos resultantes del dimensionado se importarán a la Red			
Datos Cabecera	actual quedando esta modificada Si se trata de un dimensionado con Bombeo Directo, el Nodo de			
Presiones Requeridas	unión aguas abajo de la Bomba de Cabecera se transformará en un Nodo de Presión Conocida, con dato de Presión igual a la			
Restricciones	Presión de impulsión resultante del dimensionado. La Bomba por defecto es configurada de tal mapera que no circulación del aqua			
Restrictiones	defecto es configurada de tal manera que no circulación del agua			
Restrictiones Estación Bombeo	defecto es configurada de tal manera que no circulación del agua desde a cabecera original al nuevo Nodo. Así se puede procederi Mediatamente a simular bidra/licamente las condiciones de			
Restrictiones Estación Bombeo Tarifas Eléctricas	defecto es configurada de tal manera que no circulación del agua desde a cabecera original al nuevo Nodo. Así se puede procederi inMediatamente a simular hidraúlicamente las condiciones de diseño. Para volver a dimensionar la Red, basta con modificar de			
Restrictiones Estación Bombeo Tarifas Eléctricas Parámetros Desfavorables	defecto es configurada da te la manera que no circulación de lagua desde a cabecera original al nuevo Nodo. Así se puede procederi nMediatamente a simular hidraúlicamente las condiciones de diseño. Para volver a dimensionar la Red, basta con modificar de nuevo el Nodo de Presión Conocida y convertirio en Nodo de Unión.			
Restructiones Estación Bombeo Tarifas Eléctricas Parámetros Desfavorables Materiales	defecto es configurada de tal manera que no circulación del agua desde a cabecera original al nuevo Nodo. Así se puede procederi nMediatamente a simular hidraúlicamente las condiciones de diseño. Para volver a dimensionar la Red, basta con modificar de nuevo el Nodo de Presión Conocida y convertirlo en Nodo de Unión.			

PASO 10: RESUMEN

FIGURA 8.21 Asistente OPTIMIZACIÓN DE DIÁMETROS. Paso 10: resumen

 Conservar Datos. Escogiendo esta alternativa, los datos definidos durante el proceso de dimensionamiento quedarán guardados y accesibles para los posteriores dimensionados que el usuario realice a través del asistente de OPTIMIZACIÓN.

Según se explica en el cuadro de diálogo del último paso del asistente, al dimensionar una red con *Elemento Bomba* en cabecera, GESTAR transformará el *Nodo* de *Unión* aguas abajo del *Elemento Bomba* en un *Nodo de Presión Conocida*, tal y como queda reflejado en el ejemplo de la FIGURA 8.22. Este *Nodo* pasará a funcionar como Nodo de Cabecera, quedando inhabilitados el *Nodo de cabecera* real y el *elemento Bomba*. Desde el nuevo *Nodo de Presión Conocida* el usuario recibirá información acerca de cuál es la presión nominal que se requiere desde la estación de bombeo para que se cumplan los requerimientos definidos con los resultados de diámetros obtenidos.



FIGURA 8.22 Ejemplo Red con Elemento Bomba en cabecera OPTIMIZADA.

Al *finalizar* con éxito el proceso de optimización, los resultados obtenidos serán cargados en la red, y almacenados en un fichero PDF para su posterior consulta (ver apartado 7.7 SALIDA DE RESULTADOS, pág. 211).

9 ANÁLISIS HIDRÁULICO

9.1 CONCEPTOS Y RECOMENDACIONES

El objeto de este apartado es recoger las posibilidades y metodologías de trabajo de los procesos de análisis hidráulico estacionario, en una serie de escenarios y supuestos que permiten verificar las condiciones de diseño y los márgenes de operación y explotación del sistema.

Las diversas utilidades de análisis de redes que se aportan desde GESTAR, permiten la simulación del comportamiento tanto de redes con topología de tipo mallado como ramificado (ver ANEXO I pág. 335). A su vez, se podrán generar escenarios aleatorios de demanda o bien deterministas, admitiendo la simulación hidráulica del número de escenarios que el usuario desee y considere significativos. En las redes de riego se pueden encontrar habitualmente centenares de hidrantes, por tanto, si durante la fase de diseño de la instalación se desea estudiar el comportamiento de la red ante diversos estados hipotéticos con distintas condiciones de simultaneidad, la especificación uno a uno de los hidrantes abiertos por parte del proyectista resultará una tarea sumamente tediosa, especialmente si se desea conocer el comportamiento del sistema ante múltiples escenarios y combinaciones de la demanda. La posibilidad de que el programa genere internamente escenarios que respeten ciertos condicionamientos globales resulta sumamente interesante ya que esta utilidad facilitará la implementación ágil de escenarios en condiciones de explotación diversas.

Se facilita además un amplio abanico de opciones de modelización de las demandas mediante el empleo de diversos tipos de *Nodo* (*Nodos* de *Consumo Conocido*, *Hidrantes Reguladores*, *Emisores*, *Aspersores*).

Cabe señalar que para que el proceso de cálculo se realice con éxito, no deberán existir en ningún estado simulado *Nodos* aislados respecto a la presión de referencia, como sucedería, por ejemplo, si se implementara una *válvula cerrada* (ver , pág. 99) en un *Elemento Tubería* inmediatamente anterior a un *Nodo* final de línea (ver).



FIGURA 9.1 Ejemplo configuración nodo sin altura piezométrica de referencia. NO CALCULA



FIGURA 9.2. Ejemplo configuración nodo 227 abierto. CALCULA

No debe confundirse esta situación con la posibilidad de implementación de *Nodos* cerrados en un escenario, los cuales se simularán con las opciones de apertura y cierre específicas (ver FIGURA 9.3).



FIGURA 9.3 Ejemplo configuración nodo 227 cerrado. CALCULA

Mediante el menú de programa *Cálculos*, se accederá a opciones varias que se explican a continuación en este capítulo (*Hotstart, Automático*), y que otorgan la posibilidad de agilizar el tiempo de cálculo de la simulación.

9.2 CONFIGURACIÓN DE CARACTERÍSTICAS GENERALES

Previo al análisis hidráulico, se aconseja revisar la configuración de una serie de características generales, que especifican las propiedades del fluido, la formulación de pérdidas de carga lineales a usar y criterios generales para la consideración de pérdidas singulares. El usuario podrá acceder a ellos desde el *Menú: Cálculos/ Características* (FIGURA 9.4).

Etiquetas	Vis	ualización	Magnitudes	
Nodos Formulació C Lamina C Hazen- C Lamina C Blasius C Magnir O Darcy- C Lamina C Utras n Pérdida Pérdida	Elementos n cálculo de pérdida r Williams r + Hazen-Williams g <u>W</u> eisbach r + Darcy-Weisbach nonómicas singular: (%) 4 d Equivalente.	Parámetros Datos del fluido <u>V</u> iscosidad Kg D <u>e</u> nsidad Kg Presion Vapo <u>B</u> ase de	Características I/ms 0,001 /m3 1000 r a 25º 0,0001 datos de fluidos	Configuración Definir estos parametros como predeterminados <u>Recuperar los</u> valores que originalmente ofrecía Gestar.
	Aceptar	Cancel	ar	Aplicar

FIGURA 9.4 Preferencias/ Características.

Se deberá confirmar que las propiedades físicas del fluido circulante cargadas por defecto son las adecuadas, permitiendo su modificación de forma manual o a través de la *Base de Datos de Fluidos* (ver pág. 164), así como el tipo de formulación para las pérdidas de cargas continuas.

Puede considerarse, si así se desea, la existencia de pérdidas singulares distribuidas de forma homogénea a lo largo de las *Tuberías*, asimilándolas a un incremento de su longitud en el porcentaje que se estime oportuno. Así, si éste ha sido un criterio de diseño durante la fase de dimensionado (ver pág. 258) será necesaria su consideración en la fase de verificación de resultados de optimización. Además si se considera oportuno (se trata de una red con un alto número de intersecciones, por ejemplo) se podrá incluir el cálculo automático de las pérdidas en bifurcaciones, para aquellas que convergan tres Tuberías (ver ANEXO V PÉRDIDAS EN BIFURCACIONES, pág. 371).

9.3 CONFIGURACIÓN DE LA RED

Antes de realizar la simulación, es necesario que el usuario revise la correcta configuración de una serie de parámetros físicos y topológicos, para obtener resultados y aproximar estos al máximo al comportamiento real, En el caso de analizar el sistema en su evolución temporal deberá complementar la información con la descripción de los cambios en el tiempo de la demanda y del estado de activación de los componentes. Los aspectos de que deben contemplarse con especial anteriores describen a continuación.

Comprobar que en ningún estado simulado quedan nodos aislados respecto a la presión de referencia.

Ver explicación detallada en apartado 9.1 CONCEPTOS Y RECOMENDACIONES, pág. 263.

Ajustes de datos y reproducción de pérdidas singulares y consignas de las válvulas de regulación automática

En el caso de que se considere que la dotación de algún hidrante no coincide con el consumo real (por ejemplo, se han realizado una serie de mediciones posteriores y se ha comprobado que los consumos son menores), se habilitan tanto en los *Nodos de Consumo Conocido* como en los *Hidrantes Reguladores*, herramientas que permiten el ajuste preciso de la demanda (ver , pág. 87 y , pág. 91).

Así, desde los *Elementos Tubería* (ver , pág. 99), podrán añadirse *Accesorios*, *Pérdidas singulares* o *Válvulas con grado de cierre dado*, para reproducir con mayor detalle el cómputo y ubicación de pérdidas singulares.

Como *Elementos* hidráulicos independientes, se podrán implementar válvulas *reguladoras de presión, sostenedoras de presión* y *limitadoras de caudal* (ver $\stackrel{\text{reguladoras}}{\longrightarrow}$, pág. 121), debiendo tenerse en cuenta una serie de precauciones en su utilización (ver pág. 125).

ADVERTENCIA: La configuración de combinaciones en paralelo o en serie de válvulas de regulación no puede ser arbitraria, pudiendo existir en caso contrario problemas de convergencia.

Configurar los equipos de bombeo

La introducción de los puntos de las curvas características de los equipos individuales de impulsión, trabajando a una velocidad de giro determinada, puede hacerse en forma tabular o desde base de datos (ver \mathfrak{V} , pág. 116).

Existe la posibilidad de introducir curvas características de forma arbitraria, lo que resulta determinante para implementar de forma muy sencilla, a la par que rigurosa, el comportamiento de estaciones de bombeo directo con cualquier tipo de regulación que permita seguir una curva de consigna mediante una o varias bombas de velocidad variable (o bien la curva neta de altura de impulsión de la asociación en paralelo, si todos los grupos son de velocidad fija). Para ello, basta representar el conjunto de la estación de bombeo mediante una pseudo-*Bomba* cuya curva altura de impulsión vs.

caudal sea precisamente la curva de consigna impuesta al autómata de la estación de bombeo, y cuya curva de potencia neta (o rendimiento) vs. caudal sea la correspondiente a la composición y tipo de regulación empleado. Estas curvas pueden ser impuestas tabularmente por el usuario u obtenidas automáticamente mediante las herramientas que GESTAR 2008 aporta bajo el menú *Regulación de la Estación de Bombeo* (ver capítulo 10. VALORACIÓN DE COSTES ENERGÉTICOS Y OPTIMIZACIÓN DE REGULACIONES DE ESTACIONES DE BOMBEO pág. 297)

Introducir las consignas temporales y lógicas de operación de los componentes

En el caso de análisis hidráulicos con evolución temporal, deberán establecerse los patrones de apertura/cierre de componentes a lo largo del tiempo, así como los factores de modulación de los consumos y las consignas de control de los dispositivos regulados en caso de que los hubiere. Puesto que también es posible acceder al cálculo de una serie de parámetros energéticos instantáneos y totales, si se desea explotar estos recursos, será necesario definir las consignas y periodos de trabajo de los equipos (bombas individuales o estaciones de bombeo) y las tarifas de potencia y energía para el sistema de riego a estudio.

Cuando los componentes de la red, incluidos los grupos de bombeo (bien sean individuales o estaciones de bombeo), tengan programas de actuación (apertura/cierre, arranque/paro) temporales, estos se podrán configurar desde las tablas de *Patrones* especificando el estado de apertura/cierre (arranque/paro en caso de grupos de bombeo) en función del instante. Si cuentan también con actuaciones condicionadas por condiciones de estado de otros componentes, estas se reproducirán mediante Consignas Lógicas confeccionadas al efecto (ver pág. 281).

En las simulaciones con evolución temporal, la fluctuación a lo largo del tiempo de la demanda en un punto de consumo respecto al consumo asignado al hidrante, debida al uso compartido de un hidrante o al riego de diferentes sectores, podrá reproducirse mediante el parámetro de modulación asignado.

9.4 SIMULACIÓN DE ESCENARIOS ALEATORIOS

9.4.1 HERRAMIENTAS PARA GENERACIÓN ESCENARIOS ALEATORIOS

Acceso a la generación de escenarios aleatorios

El usuario tiene acceso a la herramienta para la generación de escenarios aleatorios de demanda, con apertura al azar de *Nodos Consumo Conocido* e *Hidrantes Reguladores*, mediante el icono , en la fila superior de la barra de herramientas. Al pulsar este botón, aparecerá la ventana de la FIGURA 9.5. Al generar, y a continuación simular estos escenarios, se podrá comprobar la respuesta de la red ante diferentes condiciones de demanda real, correspondientes a un determinado porcentaje de apertura de *Nodos* de *Consumo Conocido* e *Hidrantes Reguladores*, porcentaje seleccionando por el usuario en función del tipo de condición que quiera analizar. Este porcentaje representa la simultaneidad de demanda en la red respecto a la total potencial (instalada).

Desde la ventana de la FIGURA 9.5 se pueden generar individualmente *Escenarios Aleatorios*, o acceder a la utilidad de *Escenarios Múltiples* de la red a la demanda. Para lo primero se habilitan una serie de herramientas que permiten modificar las condiciones de cada escenario individual en función de las instrucciones del usuario. A la segunda opción se accede mediante el botón asociado.

Criterios sorteo:	Resultado:	1.
Nodos incondicionalmente Abiertos: 0	Incondicionalmente Abiertos: 0	
Nodos incondicionalmente Cerrados: 0	Incondicionalmente Cerrados: 0	
Nodos Sorteables: 36 % Apertura Sorteables: 28 %	Sorteables Abiertos: 10 Sorteables Cerrados: 26	
Vodos Totales red: 36 % Apertura general: 28 %	Totales abiertos: 10 Totales Cerrados: 26	
Tipo de sorteo En número 💌 ್ Probabilio homogén	lades C Probabilidades eas <u>d</u> istintas	

FIGURA 9.5 Cuadro de diálogo Escenarios Aleatorios

- Tipo de Escenario
 - Probabilidades Homogéneas. La opción seleccionada por defecto será la generación de escenarios con Probabilidades homogéneas de apertura de para cada Nodo de Consumo Conocido o Hidrante Regulador (todos los Nodos se abren con idéntica probabilidad).
 - **Probabilidades Distintas.** Para que esta opción sea efectiva se exige que se hayan definido correctamente los campos específicos en las ventanas correspondientes a todos los *Nodos* de tipo *Nodo de Consumo Conocido* y *Nodo Hidrante Regulador* en virtud de los cuales se conoce la probabilidad de apertura de los mismos. Seleccionada la opción *Probabilidades Distintas, la probabilidad de apertura de cada nodo se pondera en la generación del escenario aleatorio.* (Consultar la metodología de cómputo de la probabilidad de apertura de cada hidrante en el Anexo IV, pág. 369, y en las ventanas de definición de *Nodo de Consumo Conocido*, pág. 87, y *Nodo Hidrante Regulador*, pág. 91).
 - Selección de Porcentaje de Apertura. Al escoger en la casilla desplegable la opción En Número, GESTAR abrirá aleatoriamente Nodos de tipo Nodo de Consumo Conocido y Nodo Hidrante Regulador hasta un número tal que, respecto al total instalado de Nodos de ambos tipos, se alcance el porcentaje que se seleccione mediante la barra de "scroll" a la derecha de la ventana (FIGURA 9.5). Si se activa opción En Caudal, GESTAR abrirá aleatoriamente Nodos de tipo Nodo de Consumo Conocido y Nodo Hidrante Regulador hasta que su demanda instantánea conjunta alcance el porcentaje seleccionado en la barra de "scroll", respecto a la suma de las demandas instantáneas de la totalidad de Nodos de ambos tipos (esta opción no se encuentra implementada en la versión actual de GESTAR). Cabe señalar que si la red cuenta con un número de hidrantes suficiente con demandas de consumo semejantes, los resultados de la opción En Número y En Caudal son equivalentes.
- Criterios Escenario. El usuario podrá haber definido previamente una serie de Nodos que se mantengan incondicionalmente abiertos o cerrados, no viéndose afectados por acción de la apertura aleatoria, mediante el botón *P* (ver pág. 81). Al acceder a la herramienta *I*, desde este cuadrante quedarán especificados en los cuadrantes el número de Nodos Incondicionalmente Abiertos y el número de Nodos Incondicionalmente Abiertos y el número de Nodos Incondicionalmente Cerrados que se localizan en la red actual. A continuación se detallan el número de Nodos Sorteables, esto es, no sujetos a apertura o cierre incondicional. Junto al epígrafe % Apertura Sorteables se precisa el valor del porcentaje de apertura seleccionado mediante la barra de scroll respecto del total de nodos sorteables. Por último, se obtiene el número de Nodos totales en la red y el % de Apertura general (porcentaje de Nodos abiertos, incluidos aquellos incondicionalmente abiertos, respecto del número de Nodos totales).
- Resultados. Desde este cuadrante se especifican los sumatorios resultantes referentes al número de Nodos Incondicionalmente abiertos en la red, Incondicionalmente cerrados, Sorteables abiertos, Sorteables cerrados, Totales Abiertos y Totales Cerrados.

9.4.2 GENERACIÓN Y ANÁLISIS ESCENARIOS ALEATORIOS INDIVIDUALES

Generación de escenarios aleatorios individuales

Inicialmente el usuario establece mediante la barra de "scroll" el porcentaje de tomas activas que desea que queden abiertos respecto al número total en la red. Cada vez que se aplica un porcentaje, (botón *Generar* de la Ventana de la FIGURA 9.5) se visualizan los hidrantes abiertos/cerrados que ha generado GESTAR y se actualiza el porcentaje resultante de la rutina de generación de *Escenariso Aleatorios*. Los hidrantes desactivados mediante el botón *Restricciones de Escenariso Aleatorios s* (pág. 81) no cambiarán de estado por la acción del azar.

Si el usuario no está satisfecho con la distribución y/o el porcentaje obtenido, puede volver a aplicar de nuevo el porcentaje consignado hasta que lo desee. En casos de redes con muy pocos hidrantes activos pueden aparecer ligeras desviaciones en los resultados obtenidos frente a los consignados, debido al redondeo aplicado para obtener un número entero de hidrantes abiertos.

Simulación del escenario generado. Cálculo Automático

A continuación de la generación de un escenario individual, el usuario podrá resolver el estado hidráulico energético planteado pulsando el botón de la barra de herramientas, o bien a través del *Menú: Cálculos/ Calcular*. Al seleccionar esta opción, tal y como se especifica en la pág. 71, se comunican todos los datos al módulo de cálculo, que procesa la información, llevándose a cabo la solución del escenario.

Resultará de suma utilidad para agilizar la obtención de los resultados, que previo al acceso a la herramienta , se active la opción en el *Menú: Cálculo/ Automático* (ver pág. 157). En este caso, no será necesario dar la orden *Calcular*, sino que cada vez que se pulse el botón *Generar* de esta ventana, desde GESTAR se realizará el cálculo del escenario de forma automática. Si se vuelve a clicar sobre el botón *Generar* cuantas veces se desee, se generará un nuevo escenario que será calculado de forma inmediata.

Cuando se alcance la distribución deseada, se pulsará el botón *Salir* de la ventana de la FIGURA 9.5.

Comprobación de las condiciones de operación

Cada vez que se calcula un escenario, los resultados se devuelven al módulo gráfico y estos se vuelcan en el esquema de la red en pantalla con las variables (*Ver Valores en Nodos* y *Ver Valores en Elementos*, pág. 76) y código de colores especificados (ver *Leyenda de Colores* pág. 71).

El usuario podrá realizar comprobaciones de forma inmediata, puesto que recibirá información gráfica específica, si ha activado alguna de las alarmas disponibles (Ver *Menú Alarmas/ Configuración* (pág. 170). Así, resultarán muy clarificadoras la

selección de dos *alarmas especiales*, denominadas *Presión Negativa y Presión Inferior* a la Consigna en Nodos con Regulación, que nos indicarán si existen Nodos de cualquier tipo que resulten con presión negativa, o bien Nodos cuya presión calculada sea inferior a la de consigna. A su vez, será muy habitual que se requiera el análisis de la velocidad en las *Tuberías* con el fin de que no se supere en ninguna de ellas el valor máximo de diseño considerado, para lo cual se podrá hacer uso de las *Alarmas por Rango de Valores*, que permiten el estudio de ésta y otras variables. Para este tipo de alarmas, además de marcadores gráficos, se cuenta con informes detallados en formato texto accesibles a través del *Menú: Alarmas/Informes* (ver pág. 173).

No debe olvidarse que se podrán visualizar los resultados numéricos obtenidos para los *Nodos* y *Elementos* del escenario actual calculado, mediante el *Menú: Resultados/Listado numérico* o mediante el icono 🔟 de la barra de herramientas (ver pág. 168).

RECOMENDACIÓN: Una vez dimensionada una red ramificada de distribución para funcionar a la demanda, es necesario verificar el comportamiento de la misma, como mínimo, para las condiciones de diseño, mediante la simulación de un número suficiente de escenarios aleatorios con un porcentaje de apertura igual a la simultaneidad de diseño. La simultaneidad de diseño se define como al caudal de diseño de la línea de cabecera dividido el caudal total instalado, multiplicado por 100.

9.4.3 GENERACIÓN Y ANÁLISIS DE MÚLTIPLES ESCENARIOS ALEATORIOS

Generación automática de múltiples escenarios aleatorios

Para la generación y el análisis automático de numerosos escenarios generados al azar, se habilita desde GESTAR la opción *Escenarios Múltiples*, a la que se accede pulsando el botón correspondiente de la ventana de la FIGURA 9.5. Aparecerá el cuadro de diálogo de la FIGURA 9.6 (ver pág. 68).

En esta ventana se permite establecer el número de escenarios aleatorios que se generarán y calcularán automáticamente, uno tras de otro, para cada porcentaje de apertura definido por el usuario, de *Nodos* de demanda (*Nodos* de *Consumo Conocido* y Nodos Hidrantes Reguladores) o de consumo impuesto (opción no implementada)

lúmero	Num = 100; % :	= 65	Tipo de sorteo En número 💌 © Prob. homogéneas © Prob. distintas	
Calcular medias co	on hidrante abierto			

FIGURA 9.6 Escenarios Múltiples

- ◆ Tipo de Escenario. Desde este cuadrante, el usuario podrá seleccionar el tipo de probabilidad y parámetro de aplicación (explicación detallada en pág. 269) a considerar en la obtención de los escenarios encadenados.
- ◆ Añadir. Cada vez que se introduzca un par Número de Escenarios-Porcentaje, insertando los valores en las casillas correspondientes, se deberá pulsar el botón Añadir para que pasen a formar parte de la lista de Escenarios Múltiples.
- Eliminar. Para borrar un par de valores de esta lista, habrá que seleccionarlos pulsando sobre ellos con el ratón y a continuación hacer "clic" sobre el botón Eliminar.

Otro modo de introducir una lista es abrir un *Fichero de Escenarios Múltiples* (extensión ".srt") mediante el botón in que se facilita desde el cuadro de diálogo (FIGURA 9.6). Estos ficheros habrán sido guardados previamente con el botón .

- Aceptar. Una vez establecida una lista de *Escenarios Múltiples* y configuradas las alarmas si así se desea (botón), pulsando el botón *Aceptar* se procederá a generar tantos escenarios aleatorios como se hayan especificado, con el porcentaje de *Apertura general* establecido para cada uno de ellos. Conforme los escenarios se generan se realiza la simulación hidráulica correspondiente y sus resultados se filtran con las alarmas impuestas.
- Recalcular. Además, si se pulsa el botón Aceptar con la opción Recalcular seleccionada, en cada escenario generado a partir del primero se inicializará el cálculo de la solución del nuevo escenario con los resultados del escenario aleatorio anterior. Esta opción puede ahorrar tiempo de cálculo en redes de gran dimensión con un número de escenarios a generar elevado, si bien no se recomienda como primera opción en caso de existir válvulas reguladoras, ya que puede originar falta de convergencia.
- Calcular medias con hidrante abierto. Opción seleccionada por defecto, para que en la obtención de resultados medios de la variable presión en hidrante se tengan

en cuenta los valores sólo de aquellos escenarios en los que el hidrante se encontraba abierto.

Cuando la secuencia de escenarios termina de generarse, calcularse y filtrarse con los rangos de alarmas, se informa momentáneamente en la parte inferior de la ventana (FIGURA 9.6) del número de escenarios calculados (propuestas por el usuario), del número de éxitos (número de escenarios en los que no ha habido alarmas) y del número de escenarios con errores de cálculo que, en su caso, se hayan producido.

Los escenarios en que no se ha dado ninguna alarma, se denominan *Escenarios Válidos*. Los escenarios en que se ha producido, una o más alarmas, se denominan *Escenarios Críticos*.

A continuación, si en la batería de casos han aparecido *Escenarios Críticos*, y se ha activado la opción *Guardar Escenarios Críticos*, en la ventana de Configuración de Alarmas, (ver pág. 169) aparecerán en pantalla dos pequeños iconos (ver FIGURA 9.7).



FIGURA 9.7 Gestión Escenarios Válidos / Escenarios Críticos.

El icono con el símbolo de acuerdo *signalización y consulta* de un resumen de los resultados de los escenarios que han resultado *Escenarios Válidos*, resumen que contiene los valores máximos, medios y mínimos encontrados a lo largo de la batería de casos analizados para todas las variables .

El icono 📕 dará acceso a la consulta individual los *Escenarios Críticos*.

Si en la batería de casos generados y simulados automáticamente no ha aparecido ninguna alarma, bien porque las variables no ha infringido ninguno de los controles activados, bien por que no haya ninguna alarma activada, no aparecerán dichos iconos y el proceso concluye dando acceso directamente al resumen de resultados de *Escenarios Válidos*.

Opciones de configuración de alarmas

En función de las opciones que se implementen en la *Configuración de Alarmas*, a la que se accede desde el botón (o bien desde el *Menú: Alarmas/ Configuración*), los resultados de la batería de escenarios generados y simulados presentarán diferente estructura y podrán utilizarse para fines complementarios. (Si se desea más información sobre alarmas, consultar en pág. 169)

Las opciones de configuración de alarmas son:

A) Generación Aleatoria y Escenarios Múltiples SIN ninguna alarma activa: Al desactivar todas las alarmas, sean cuales sean los resultados del escenario, todos los escenarios serán calificados como *Escenarios Válidos*. Esta opción suministrará los valores máximos, mínimos y medios tomando en consideración todos los escenarios generados, y resulta de utilidad para estimar los límites extremos y valores medios de todos los parámetros. Resulta de interés para identificar de forma sintética los valores extremales absolutos de un cierto grado de simultaneidad de la demanda, pero no identifica la frecuencia de ocurrencia de dichos extremos, ni la ocurrencia, ubicación y frecuencia de condiciones, que si bien no son las más desfavorables, pudieran no ser adecuadas.

B) Generación Aleatoria y Escenarios Múltiples CON alguna alarma activa: Si en la batería de escenarios generados aleatoriamente no se viola ninguna condición que genere alarma, se estará en el caso a). Si aparecen *Escenarios Críticos*, se dan dos subcasos, en función de la opción adoptada para la casilla de *Guardar Escenarios Críticos*.

B1) Opción *Guardar Escenarios Críticos* desactivada: Se mostrará, como en la opción, el resumen de máximos, medias y mínimas pero exclusivamente de los escenarios que han resultado *Escenarios Válidos*, sin incorporar los resultados encontrados para los *Escenarios Críticos*, que son desechados. Si no hubiera ningún *Escenario Válido*, un mensaje lo indica y el proceso se detiene, devolviendo el sistema a la condición inicial.

B2) Opción *Guardar Escenarios Críticos* activada: Los escenarios que generan alarmas se almacenan en disco con todos sus detalles, para posterior consulta. Con los *Escenarios Válidos* (si existen) se confecciona un resumen como en A). Esta opción resulta de utilidad como análisis complementario y subsiguiente a una configuración de alarmas tipo A), ya que permite establecer:

- La frecuencia de aparición de los valores extremos
- La frecuencia de violación de rangos recomendados y consignas.
- La ubicación de *Nodos*, *Elementos* o zonas completas que manifiestan disfunciones.
- La interacción, relación causa-efecto y fenomenología de las condiciones desfavorables.

Todo ello permite juzgar la severidad y probabilidad de ocurrencia de las combinaciones más desfavorables, así como facilitar la identificación, diagnosis y, si es posible, su remedio preventivo o correctivo, de los problemas hidrodinámicosenergéticos.

Consulta de valores medios, máximos, y mínimos absolutos de Escenarios Válidos.

Para los escenarios *Escenarios Válidos*, los valores máximos, mínimos y promediados de todas las variables se podrán mostrar de forma numérica, en tablas, y de forma gráfica, en el mapa de la red.

Desde el icono de la barra de herramientas *Código de Colores* (botón **!!**, ver pág. 71), o desde la *Tabla de Resultados* se seleccionan los valores que se desea ver mediante las casillas *Máx., Mín.* y *Med.*, respectivamente, en todo tipo de visualización (valores numéricos, código de colores, tabla de Resultados) y exportación de datos. La configuración del código de colores por defecto para cada variable utiliza unos rangos equidistantes entre los valores mínimos y máximos absolutos encontrados en todos los escenarios generados.

Otro modo específico para la consulta de resultados se basa en el uso del botón derecho del ratón, que ahora mostrará los valores máximos, medios mínimos de las variables más relevantes de cada componente, obtenidos entre los *Escenarios Válidos*. El usuario deberá colocarse sobre el *Nodo* o *Elemento* del que desee recibir información. La información visualizada se adapta a la tipología del *Nodo*. Así, si se trata de un *Nodo de Consumo Conocido* o *Hidrante Regulador*, al pulsar el botón derecho, se abrirá una ventana similar a la de la FIGURA 9.8, en que se aprecia que además se informa del *Margen de Presión*, si la *Presión de Consigna* está definida, medio, máximo o mínimo, acorde con la opción de la visualización general. En el caso de que sea un *Nodo de Unión* la ventana se verá reducida, no apareciendo el valor de *Consumo* medio, puesto que resultaría incoherente con la propia tipología del *Nodo* (ver **...,** pág. 83).

Nodo21Cota72,4838 mConsumo0,01523 m3/sPresión máxima39,8167 mcaPresión media36,7104 mcaPresión mínima33,8842 mcaMargen Pres de med1,6086 mca

FIGURA 9.8 Información nodos Escenarios Múltiples desde botón derecho.

Cuando el usuario haga clic sobre el botón derecho habiéndose colocado sobre un *Elemento*, aparecerá una ventana semejante a la de la FIGURA 9.9.

Conducción	TU85
Nodo inicial	0
Nodo final	NU35
Longitud	1499,207 m
Diám. int	1,2 m
Rugosidad	0,0001
Pérd.Carga/Long. máxima	0,612
Pérd.Carga/Long. media	0,492
Pérd.Carga/Long. mínima	0,355
Caudal máximo	0,96685 m3/s
Caudal medio	0,85822 m3/s
Caudal mínimo	0,72542 m3/s
Velocidad máxima	0,855 m/s
Velocidad media	0,759 m/s
Velocidad mínima	0,641 m/s

FIGURA 9.9 Información elementos de *Escenarios Válidos* en *Escenarios Múltiples* desde botón derecho.

Para consultar los valores numéricos en forma de listado, para los Escenarios

Válidos, se hará uso del icono de la barra de herramientas *Resultados* (botón), ver pág 133).Cuando se accede al listado, se muestran inicialmente los valores medios de cada una de las variables por columnas. Modificando la selección a los valores máximos (*Max*) o mínimos (*Min*), pasarán a visualizarse en la *Lista de Resultados* la categoría elegida.

¦ ∰ ∕alores r ∩ Ma	nedios del se ax ⓒ M <u>e</u> d	orteo encader C Mi <u>n</u>	nado.			– Gráfi	ica de barras Máxima ┌─ Consigna Media ┌─ Mínima Ver Gráfica │	
	Nodo	\$	1	Elementos	1			
	NODO	ALT. PIEZ	PRESIÓN	CONSUMO	COTA	P.CONSIGNA		
1	45	114.19	50,46	0.019	63.72	47.90	2.56 pC=52.944	-
2	44	114,06	31,02	0,010	83,04	28,70	2,32 pC=35,75736	
3	50	112,87	29,79	0,006	83,08	27,90	1,89 pc=33,92272	
4	49	113,67	37,53	0,008	76,14	35,05	2,48 Pc=44,05031	=
5	48	112,18	43,86	0,000	68,31	35,06	8,80 @	
6	46	113,51	56,94	0,010	56,57	36,15	20,79 @	
7	47	96,92	49,15	0,022	47,77	37,93	11,23 @	
8	37	103,09	53,96	0,016	49,13	36,01	17,95 @	
9	43	108,00	57,39	0,000	50,62	33,35	24,04 @	
10	42	111,49	65,41	0,008	46,08	34,47	30,94 @	
11	41	107,94	46,04	0,000	61,90	39,81	6,23 @	
12	40	104,64	46,66	0,017	57,98	32,07	14,59 @	
13	38	106,56	58,56	0,018	48,00	35,84	22,72 @	
14	39	114,41	43,14	0,020	71,27	40,97	2,17 @	
15	36	100,53	46,52	0,000	54,00	39,34	7,18 @	
16	35	114,68	51,77	0,017	62,91	33,88	17,89 @	
17	34	114,28	48,27	0,022	66,01	41,44	6,84 @	
18	33	114,26	39,49	0,017	74,77	36,40	3,09 @	
19	31	115,25	40,76	0,000	74,49	38,70	2,06 Pc=40,7283	
20	32	114,96	59,42	0,000	55,54	46,75	12,66 @	
21	30	112,59	56,06	0,019	56,53	38,87	17,19 @	
22	29	109,51	42,51	0,021	67,00	36,67	5,84 @	
23	28	114,40	38,71	0,031	75,69	37,70	1,01 pc=42,7629	
24	27	114,37	57,37	0,019	57,00	36,71	20,66 @	
			FE 47	0.011	57.97	36 47	19.00 @	

FIGURA 9.10 Listado Numérico de Escenarios Múltiples.

Desde esta misma ventana, se permite la construcción directa de diagramas de barras para comparación de los valores medios, máximos y mínimos. El usuario deberá seleccionar en el listado la variable del *Nodo*(s) o *Elemento*(s) que desea comparar. Puede seleccionar la columna completa (que admite ordenación previa alfanumérica, creciente o decreciente, en la mayoría de ellas) o un subrango de componentes. A continuación, se elegirá desde el cuadrante *Gráfica de Barras* en la ventana de la FIGURA 9.10, las categorías que se solicita comparar entre sí (máxima, media, mínima y de consigna, esta última sólo habilitada para las presiones) Al pulsar sobre el botón *Ver Gráfica,* se representará en una ventana nueva (FIGURA 9.11) un diagrama con barras rectangulares de alturas proporcionales a los valores que representan. El número de barras representadas para cada *Nodo* o *Elemento* dependerá de las categorías seleccionadas. Las barras se orientan en el gráfico de manera vertical, por lo que el eje de las y corresponderá a la variable escogida, especificándose en el eje de las x el(los) *identificativo(s)* del *Nodo*(s) o *Elemento*(s) al (los) que se asocian las barras.



FIGURA 9.11 Gráfica de barras

El usuario podrá modificar la visualización en pantalla de la *Gráfica de Barras* mediante la barra de scroll en la parte inferior. Además, pulsando el botón derecho se permite *Imprimir a archivo .gif* y *Copiar en portapapeles* el gráfico completo.

Cursor de consulta de resultados de escenarios críticos.

Si se obtienen escenarios críticos provocados por la configuración de las alarmas y además se ha activado la casilla de verificación *Guardar Escenarios Críticos* de la ventana *Alarmas,* aparecerá otra ventana flotante, cuando se pinche sobre el icono *Escenarios Críticos* (FIGURA 9.12).

Casos citacos	
Pase 1 - Conducción 6: Velocidad = 0 m/s	J

FIGURA 9.12 Ventana de selección de escenarios críticos.

En esta ventana se ofrece los datos de la primera variable que ha hecho saltar la alarma. Para ver todos los *casos críticos* será necesario abrir la ventana *Alarmas*, y desplegar el *Informe*.

Existen varias formas de visualizar los casos críticos generados. La primera consiste en representar los resultados sobre el mapa gráfico, por código de colores y con los resultados numéricos sobre el dibujo, y otra en ver los resultados numéricos mediante el icono *Resultados* (botón). El paso de un escenario a otro, bien sea para ver el *mapa gráfico* o los *Resultados Numéricos*, se puede hacer de dos maneras diferentes a través de la ventana cursores (FIGURA 9.12). En la parte superior derecha (botones 1) tenemos unos cursores para la visualización de todos los casos, uno por uno, presionando manualmente a los botones cada vez que se desee

pasar al siguiente o al anterior, estando la posibilidad también de ir al último o al primero directamente (botones de los extremos). Por otro lado, existe la opción *video* (botones), la cual ofrece la oportunidad de ver la secuencia completa de todos los casos, con las opciones de *pausa o parada* en mitad de la evolución.

Al acceder a la ventana de *Alarmas* (botón), se tiene la posibilidad, mediante el botón *Informe*, de acceder al informe de alarmas correspondiente al escenario crítico visualizado. Así mismo, en el esquema de la red destacarán de forma gráfica los *Nodos* y *Elementos* que han desbordado las alarmas establecidas en la ventana de *Configuración de Alarmas*.

Si se ha activado la opción *Guardar Alarmas en Base de Datos* (ver pág. 169) del menú *Alarmas* podrá consultarlas, accediendo a. la base de datos donde haya indicado su almacenamiento.

La información detallada sobre la interpretación de la salida gráfica se encuentra recogida en pág. 180.

9.5 SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DETERMINISTAS

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

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

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

Una vez especificado el patrón temporal puede efectuarse la simulación temporal. En cada instante de tiempo el módulo de cálculo *SIMEXT.DLL* resuelve el sistema hidráulico en equilibrio 3 tomando como puntos de consumo y grupos de bombeo activos, los especificados en la tabla patrón para dicho instante. Entre un instante y el siguiente se evalúa el consumo efectuado en *Embalses*, *Nodos* de *Presión Conocida* y *Balsa*s, computándose en el último caso las variaciones de nivel correspondientes, en función de la geometría introducida para ellas, actualizándolo así el próximo paso temporal.

Una vez culminado el cálculo hidráulico de todos los instantes, los resultados y datos de la simulación hidráulica pueden consultarse haciendo avanzar o retroceder el escenario instantáneo mostrado mediante los correspondientes cursores temporales. Los códigos de colores, valores numéricos visualizados y ventanas desplegables para *Nodos* y *Elementos* en el mapa, corresponden a los resultados obtenidos en cada instante. Las tablas y gráficas de evolución temporal pueden ser llamados entonces. En los apartados siguientes se especifican los procedimientos de uso de las herramientas disponibles.

9.5.1 GENERACIÓN Y ANÁLISIS DE ESCENARIOS DETERMINISTAS INDIVIDUALES

Generación de escenarios deterministas individuales

Se cuentan con diversas herramientas desde GESTAR para la generación de escenarios de demanda deterministas estacionarios. Así, el usuario podrá *determinar* qué *Nodos* demandan caudal en la situación concreta, para la que desea llevar a cabo un análisis hidráulico, utilizando del icono Abrir, o bien mediante el *Menú: Opciones/ Abrir-Cerrar Hidrantes*.

Seleccionando el botón $\stackrel{\text{list}}{\longrightarrow}$, tal y como se explica en la página 81, al hacer "clic" sobre un *Nodo de Consumo Conocido* o sobre un *Nodo Hidrante Regulador* se hace nulo el consumo en el *Nodo (Nodo* cerrado, icono en color blanco), mientras que si ya estaba cerrado se vuelve a abrir (representado en color azul) con la demanda instantánea que tenía antes de cerrarlo (demanda anterior). Si existen *Nodos* abiertos o cerrados incondicionalmente (botón $\stackrel{P}{\longrightarrow}$, ver pág. 81), deberán ser modificados previamente con esta herramienta, para que se pueda hacer uso del botón $\stackrel{\text{se}}{\longrightarrow}$ para abrirlos o cerrarlos.

Si escoge la opción del *Menú: Opciones/ Abrir- Cerrar hidrantes* (pág. 148), accederá a la ventana de la FIGURA 6.15. Permite realizar la orden de *Abrir o Cerrar* un hidrante insertando su *identificativo* en la casilla correspondiente. Este modo de inserción de estados resulta muy dinámico si se cuenta con un listado de hidrantes abiertos y cerrados previo, pudiendo escoger el usuario que sea avisado si el *identificativo* introducido no existe. Al igual que sucedía en la opción anterior, no se podrán modificar *Nodos Abiertos* o *Cerrados* de forma *Incondicional*, y quedará plasmado gráficamente la situación en la que se encuentra cada *Nodo*.

fidrante ID.		C <u>C</u> errar
Avisar si no existe	Aceptar	Cancelar

FIGURA 9.13Menú Opciones/ Abrir Cerrar Hidrantes.

Simulación del escenario generado. Cálculo automático

Al igual que sucedía para los escenarios generados de forma aleatoria, el usuario podrá resolver el problema hidráulico planteado pulsando el botón 🔟 de la barra de herramientas, o bien a través del *Menú: Cálculos/ Calcular*.

Si se activa previamente la opción en el *Menú: Cálculo/ Automático* (ver pág. 157), cada vez que el usuario abra o cierre un hidrante, o acepte cualquier cambio de configuración en la red mediante la edición de datos de sus componentes, el escenario refrescará el cálculo directamente, utilizando la nueva configuración introducida.

Comprobación de las condiciones de diseño

El usuario tiene a su alcance las mismas herramientas para el análisis y filtro de resultados que las especificadas para el caso de escenarios individuales generados de forma aleatoria (ver pág. 270).

9.5.2 GENERACIÓN DE ESCENARIOS DETERMINISTAS CON EVOLUCIÓN TEMPORAL

Esta herramienta permite configurar análisis de red a lo largo de una secuencia temporal en que en cada instante la red se encuentra en estado cuasi-estacionario. Esta metodología, que se denomina en la literatura, *Análisis en Periodo Extendido*, supone que las condiciones de consumo y de operación de los dispositivos de bombeo y control se mantienen inalteradas en un cierto intervalo temporal, y que la variación de nivel en los depósitos, en dicho intervalo, tiene lugar de forma lineal. El cambio de condiciones de un intervalo a otro se efectúa despreciando en las ecuaciones de comportamiento de los componentes los términos no estacionarios propios de los transitorios rápidos. En consecuencia, el sistema pasa consecutivamente por una sucesión de estados estacionarios, en que los instantes anteriores influyen en el actual exclusivamente a través del proceso de carga/descarga de los puntos de acumulación de fluido en la red. En la evolución temporal se resuelven secuencialmente un conjunto de escenarios deterministas, donde cada escenario que se calcula difiere de los demás en el estado de apertura de los hidrantes y de operación de los grupos de bombeo (especificados por el

usuario) y en el nivel de fluido en los puntos de acumulación susceptibles de cambiar de nivel (si los hubiere), nivel cuya evolución va calculando el programa.

Recuerde que los puntos de almacenamiento de fluido con nivel variable a lo largo de la simulación (embalses, balsas, depósitos,..) se implementan mediante un *Nodo* específico, *Nodo Balsa*. El nivel en los *Nodos Balsa* lo suministra el módulo de cálculo en función de la entrada/salida de fluido en el intervalo de simulación , del nivel en el instante inicial del intervalo, y de las características constructivas de la balsa (curva de cubicación o geometría). Para la realización de la simulación con *Nodos Balsa*, se deberán cargar previamente los datos constructivos de la balsa tal y como se explica en la página 84, en el apartado dedicado a este *Nodo*.

Se obtendrán resultados para intervalo de cálculo, para las siguientes variables: Nivel de la Balsa, Altura Piezométrica, Caudal Consumido y Volumen Neto Suministrado desde el instante inicial de la simulación.

Como se documentará en el siguiente apartado, mediante el módulo de *Evolución Temporal* se puede obtener además una completa serie de resultados referentes a los parámetros energéticos de las estaciones de bombeo. En tal caso, en el proceso previo de configuración de la simulación temporal, será necesaria la definición del tipo de *Tarifas* a utilizar y la *Caracterización* de la potencia contratada, con las herramientas cuyo uso pormenorizado a continuación se detalla.

Acceso a generación de escenarios con evolución temporal

Mediante el icono ⁽²⁾, en la parte superior de la barra de herramientas, se entra en el cuadro de diálogo de la FIGURA 9.14, desde el que el proyectista fijará los criterios necesarios para la generación de escenarios deterministas con evolución temporal cuasi-estacionaria (simulación en *Periodo Extendido*).

Características del Patrón	
Intervalos	
Tiempo total de simulación	Horas 💌
○ Número de intervalos	
Amplitud de cada intervalo Hora inicial: 0 H 0 M. Amplitud de cada intervalo 1 Horas 💌	
Características de la Simulación Intervalo de la 1 Horas 💌	Alarmas Avisar
Recalcular	

FIGURA 9.14 Ventana de Configuración de la Evolución Temporal.

Configuración de intervalos temporales y duración del análisis

Desde la ventana de la FIGURA 9.14, se determinará en primer lugar las *Características de Programación*, conformado por la amplitud del intervalo temporal y número de escenarios y la referencia del instante de inicio de la simulación, mediante dos procedimientos alternativos:

- Tiempo Total de la Simulación. Si se escoge esta opción, deberá especificarse este valor en las casillas contiguas y la Amplitud de cada Intervalo en el siguiente cuadrante de la ventana, quedando determinado indirectamente el número total de intervalos o escenarios (como máximo 168 según los valores por defecto).
- Número de Intervalos. Desde esta opción, deberá definirse el Número de Intervalos desplazando el marcador de la parte central de la ventana. El número máximo de intervalos por defecto es 168. Junto con el valor especificado como amplitud de cada intervalo, quedará determinado el tiempo total de la simulación.

Si se desea, se puede establecer el origen temporal de la simulación, desde las casillas referentes a la *Hora Inicial*, de modo que GESTAR asocia un instante temporal absoluto a cada uno de los escenarios propuestos, según la magnitud de los intervalos. Si no se rellenan estas casillas, los tiempos serán relativos.

• Características de la Simulación. De forma independiente, desde este cuadrante, se establecerá el *Intervalo de la Simulación*, es decir el tiempo que transcurrirá entre

dos resoluciones sucesivas del modelo hidrodinámico. (paso temporal computacional). Este paso no debe ser superior al intervalo del Patrón, ni superior a un tercio del tiempo mínimo estimado para vaciado-llenado de las Balsas del sistema, con objeto de que las órdenes asociadas a los niveles en las mismas y los órganos de control puedan ser ejecutadas y los resultados sean estables. La reducción del Intervalo de Simulación incrementa la estabilidad de los resultados cuando hay *Elementos* de control, pero aumenta el tiempo de cálculo, y en el límite, puede llegar a saturar los ficheros y bases de datos de salida de resultados y alarmas, por lo que una selección juiciosa es requerida.

• Determinación de condiciones de ejecución ante alarmas

Desde la ventana de configuración de la *Evolución Temporal* (FIGURA 9.14), se facilita un cuadrante que permite la activación de las *Alarmas*, que serán comprobadas y tenidas en cuenta en todos los *Intervalos de Simulación*. Para la configuración de las mismas puede pulsar el botón *Configurar* en la propia ventana o acceder mediante el botón *Alarmas* (ver pág. 169), desde este cuadro de diálogo (FIGURA 9.14).

Además, si se activa la opción *Avisar* de esta ventana, durante el proceso de simulación con *Evolución Temporal*, aparecerá un cuadro de aviso cada vez que en uno de los escenarios propuestos por el usuario se desborden los rangos o aparezcan los fallos establecidos en la configuración de las alarmas. Este cuadro de aviso permitirá, opcionalmente, abortar la simulación, guardándose los resultados hasta ese instante, o continuar con ella hasta agotar el patrón programado. Las alarmas se archivan en el *Informe de Alarmas*. A su vez, en cada escenario las alarmas serán mostradas gráficamente al visualizar cada escenario una vez concluido la *Evolución Temporal*.

Si en cambio se encuentra la opción *Ignorar* activada, no se producirá aviso alguno cuando las alarmas sean desbordadas, pero la alarma será archivada en el informe y mostrada gráficamente una vez acabado el proceso.



Confección de Programaciones Temporales



Al activar en la ventana de la FIGURA 9.14 el botón *Programación*, se despliega la tabla de la FIGURA 9.15. En ella aparece, para cada uno de los hidrantes de la red actual (*Nodos de Consumo Conocido y Nodos Hidrantes Reguladores*) y *Elementos Bomba*, identificados en la primera columna de la izquierda, una fila dividida en un número de casillas equivalente al de *Intervalos del Patrón*, derivados de la ventana de configuración de la *Evolución Temporal* (FIGURA 9.14).

Si una casilla se encuentra en blanco indica que el *Nodo* o *Elemento* asociado se encuentra cerrado o desactivado en el intervalo temporal correspondiente. Si se encuentra marcada, con una aspa o rellena de un color, en función de lo que se especifique en el cuadrante *Selección*, el *Nodo* se encuentra abierto y el *Elemento* activado (p.e. bomba en funcionamiento).

En la parte superior de la ventana *Patrones de Apertura* se dispone de las funciones para crear recuperar y almacenar todos los datos correspondientes a la ventana *Programación Temporal*:

- Botón D. Tras solicitar confirmación de la operación, refresca todos los componentes de la tabla en todos los instantes dejándolas inactivos, es decir, deja todas las casillas en blanco.
- Botón E. Abre un *Fichero de Evolución* (extensión ".mdb" o "evt"), fichero donde se pueden almacenar los patrones mediante el botón *Guardar configuración*.
- Botón . Permite crear y/o guardar el contenido del patrón actual en un *Fichero de Evolución* (extensión "mdb" o ".evt").
- Botón *Aceptar*. Cierra la ventana *Patrones de Apertura* tomando en consideración los cambios efectuados en ella.
- Botón *Cancelar*. Cierra la ventana *Patrones de Apertura* sin tener en cuenta los cambios efectuados en ella.
- **Tiempo.** Se informa de la hora inicial y de la hora del intervalo actual, que corresponde a la última casilla pulsada con el ratón.

El usuario podrá introducir, opcionalmente, en la *Programación Temporal*, los *Aspersores* y *Emisores* que se hallan definido en la red, así como las *Tuberías* que la conforman, activando las casillas correspondientes.

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

En la columna *Modulación* de la tabla accesible desde la ventana *Programación Temporal* (FIGURA 9.15), se visualiza la *Modulación* asociada a cada *Nodo*, que es efectiva para *Nodos* de *Consumo Conocido* e *Hidrantes Reguladores*. La modulación multiplica el *Coeficiente de Modulación* para *cada Intervalo del Patrón* (definido desde FIGURA 9.16) por el valor de la *Dotación* del *Nodo* respectivo. De esta manera la *Demanda* instantánea a lo largo del tiempo puede reducirse, o incrementarse, respecto a *Dotación*, modulándose de acuerdo a los factores introducidos de manera continua. Esta opción es de utilidad para la implementación de condiciones de explotación de hidrantes compartidos, con diferentes demandas a lo largo del tiempo, para representar cambios de demanda al regar diferentes sectores desde un mismo hidrante, o para implementar de patrones de consumo de agua de tipo urbano, donde la modulación de la demanda fluctúa considerablemente.

Al realizar doble clic en la casilla del *Nodo* correspondiente, se podrá acceder a una lista desplegable con las modulaciones disponibles, generadas previamente, pudiendo modificar la asociación. Por defecto la *Modulación* asociada es la nº 1, que a su vez, establece por defecto los *Coeficientes de Modulación* iguales a la unidad.

Desde la última columna accesible desde la ventana FIGURA 9.15 se establece la *Prioridad* de actuación de las órdenes definidas para cada *Nodo*. Si el valor en esta columna es igual a **2**, serán prioritarias las acciones definidas a través de *Órdenes Lógicas* a lo estipulado en el patrón (si el valor es modificado a **1**, lo marcado en el patrón será prioritario a las *Órdenes Lógicas* comandadas).

Buscar. Desde este cuadrante el usuario podrá localizar en la tabla adjunta *Nodos* y *Elementos*. Tras rellenar el *identificativo* en la casilla, al pulsar el botón *Buscar*, se mostrará en la tabla el *Nodo* o *Elemento* buscado.

Confección de patrones temporales mediante turnos y a la demanda

Disponible en próximas versiones.

Editar Modulaciones y Potencias

Mediante el botón *Editar modulación* en la esquina inferior izquierda de la ventana de la FIGURA 9.15, se accede a la herramienta de creación de modulación de los patrones, que se adjunta a continuación.
Modulación	2	3	4	5	6	8	9 1	0 11	12 1	3 14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 1	1	1	1	1	1 1	1	1 1	1	1 1	1	1	1 1	1	1 1	. 1	1	1	1	1	1
•				III																1
	4 100	1	mr	. 1														1	0	
Añadir	4odificar		Elimi	inar												Ace	eptar		Canc	elar
Añadir	1odificar		Elimi	inar												Ace	eptar		Canc	elar
Añadir	fodificar tencia co		Elimi da (kV	inar												Ace	eptar		Canc	elar
Añadir Iodulacion de la Po ncias contratadas	Modificar tencia co Hora 1	ontratac	Elimi da (kV	inar V) Hora 3	Hora 4	Hora 5	Hora 6	Hora 7	Hora 8	Hora 9	Hora	10 Hor	a 11	Hora	12 Ho	Ace	eptar	a 14	Canc Hora 1	elar 5 Ho
Añadir Iodulacion de la Po ncias contratadas 1	Modificar tencia co Hora 1 0	ontratac Hora 0	Elimi da (kW a 2 H 0	V) Hora 3	Hora 4	Hora 5 0	Hora 6 0	Hora 7 0	Hora 8	Hora 9 0	Hora 0	10 Hor 0	ra 11	Hora 1	12 Ho 0	Act	eptar 3 Hora 0	a 14 (Canc Hora 19	elar 5 He
Añadir I Iodulacion de la Po ncias contratadas 1	Modificar tencia co Hora 1 0	ntratac Hora	Elimi da (kV a 2 f	V) Hora 3	Hora 4 0	Hora 5 0	Hora 6 0	Hora 7 0	Hora 8 0	Hora 9 0	Hora 0	10 Hor 0	a 11	Hora : 0	12 Ho 0	Ace	eptar 3 Hora 0	a 14	Canc Hora 11	elar 5 Ho 0
Añadir I Iodulacion de la Po ncias contratadas 1	fodificar tencia co Hora 1 0	 ontratac 0	Elimi da (kW a 2 1	V) Hora 3	Hora 4 0	Hora 5 0	Hora 6 0	Hora 7 0	Hora 8 0	Hora 9 0	Hora 0	10 Hor 0	a 11	Hora : 0	12 Ho 0	Ace	eptar 8 Hora 0	a 14	Canc Hora 1 D	elar 5 Ho 0
Añadir doulacion de la Poncias contratadas 1	fodificar tencia co Hora 1 0	 ontratac 0	Elimi da (kV a 2 I	inar V) Hora 3	Hora 4 0	Hora 5 0	Hora 6 0	Hora 7 0	Hora 8 0	Hora 9 0	Hora 0	10 Hor 0	a 11	Hora : 0	12 Ho	Ace	eptar 8 Hora 0	a 14]	Canc Hora 19	elar 5 Ho 0
Añadir doulacion de la Poncias contratadas	fodificar tencia co Hora 1 0	 ontratac	Elimi da (kV a 2 1 0	inar V) Hora 3 I	Hora 4 0	Hora 5 0	Hora 6 0	Hora 7 0	Hora 8 0	Hora 9 0	Hora 0	10 Hor 0	a 11	Hora : 0	12 Ho 0	Ace	eptar 8 Hora 0	a 14]	Canc Hora 11	elar 5 Ho 0
Añadir doulacion de la Poncias contratadas	Aodificar tencia co Hora 1 0	 ontratac 0	Elimi da (kV a 2 1 0	inar	Hora 4 0	Hora 5 0	Hora 6 0	Hora 7 0	Hora 8 0	Hora 9 0	Hora 0	10 Hor 0	a 11	Hora : 0	12 Ho 0	Acc	eptar	a 14]	Canc Hora 1 D	elar 5 Ho 0
Añadir doulacion de la Poncias contratadas 1 Añadir Añadir	Aodificar tencia co Hora 1 0	ontratac	Elimi da (kV a 2 1 0 rr Elimi	inar	Hora 4 0	Hora 5 0	Hora 6 0	Hora 7 0	Hora 8 0	Hora 9 0	Hora 0	10 Hor 0	ra 11	Hora : 0	12 Ho 0	Acc ra 13 Acc	eptar 0	a 14	Canc Hora 19 D	elar 5 Ho 0

FIGURA 9.16 Editar Modulación.

En el cuadrante superior, aparecen las diferencias secuencias de *Modulación* implementadas y el *Coeficiente de Modulación* de cada secuencia, para cada *Intervalo del Patrón*. El *Coeficiente de Modulación* es definido como la ratio entre la *Demanda* en el intervalo y la *Dotación* asignada al *Nodo*. El usuario podrá generar cuantas *modulaciones* desee, que quedarán almacenadas según el número de orden correlativo. Para ello, cuenta con los botones de edición *Añadir, Modificar y Eliminar*.

Modulación de la Potencia Contratada

A través del segundo cuadrante de la ventana de la FIGURA 9.16, el usuario podrá asignar en kW la *Potencia Contratada* según intervalos de 1 hora, para un periodo de 24 h. Puesto que en cada escenario simulado, a lo largo de una evolución temporal, se conoce el tiempo correspondiente, según el instante inicial dado y los *Intervalos del Patrón* y de la *Simulación*, GESTAR adjudica la potencia contratada a ese instante, a efectos de cómputo de la factura energética y de comprobación de alarmas para la potencia instantánea. Si el periodo de simulación supera las 24, se repite el ciclo. Se pueden introducir varias *Modulaciones de Potencia Contratada*, para reproducir diversas contrataciones de periodos diarios (distintos meses, días laborales-festivos,...) o diversas alternativas de tarifas negociadas. La modulación de la potencia contratada que se selecciona con el ratón es la que se usa en las *Evolución Temporal* subsiguientes. Si no se selecciona ninguna, GESTAR utilizará por defecto la nº 1. Al igual que en el caso de *Modulación del consumo*, se habilitan los botones de edición *Añadir, Modificar y Eliminar* que permiten registrar las modulaciones deseadas.

Si en la *Configuración de Alarmas* se habilita la alarma especial *Potencia Contratada*, aquellos escenarios en que durante el proceso de cálculo de Evolución *Temporal* la potencia requerida por los equipos de bombeo supere la *Potencia Contratada* en la según la *Modulación* seleccionada, en la hora correspondiente, se generará una alarma. Para opciones de Configuración de las Alarmas en Evolución Temporal ver pág. 284.

<u>Tarifas</u>

Al pulsar el botón *Tarifas* en la ventana de la FIGURA 9.15, se accede a la ventana de la FIGURA 9.17.

Ð	Tarifas													
	Precio ba Potencia	ase de la contratada	a:	4,6529	€/kWy	año		Pre	ecio base	de la	0,11	20	€/kWh	
Ĩ.	Precio de la	Potencia ((% sobre e	el precio ba	ase)									
	Día tipo	Hora 1	Hora 2	Hora 3	Hora 4	Hora 5	Hora 6	Hora 7	Hora 8	Hora 9	Hora 10	Hora 1	1 Hora 12	Hora 13
	1	36,244	36,244	36,244	36,244	36,244	36,244	36,244	36,244	108,545	108,545	216,90	1 216,901	216,901
	4	1	1	[1	
	Añadir	Mo	dificar	Elimin	ar							Acept	tar i	Cancelar
-														
1	Precio de la	energía (%	% sobre el	precio ba	se)									
	Día Tipo	Hora1	Hora2	Hora3	Hora4	Hora5	Hora6	Hora7	Hora8	Hora9	Hora10	Hora1	1 Hora12	Hora13
	1	74,729	74,729	74,729	74,729	74,729	74,729	74,729	74,729	108,233	108,233	122,86	7 122,867	7 122,867
	<.													
	Añadir	M	odificar	Elim	inar							Acep	tar	Cancelar
													11	
												Acep	tar	Cancelar

FIGURA 9.17 Edición de Tarifas en Evolución Temporal

En las casillas de la parte superior de la ventana se asignarán los *precios base* de la *Potencia Contratada* (en \notin kW y año) y de la *Energía* (en \notin Kwh). Las variaciones de ambos precios en función de la hora del día, se definirán como porcentaje sobre este *precio base*. Cada fila de la Figura 9.13 define un *Día Tipo* con a una tarifa que abarca un periodo de 24h. El usuario podrá *Añadir*, *Modificar y Eliminar* los *Días Tipo* que desee en cada tabla, numerados correlativamente, a través de los correspondientes botones de edición, para reproducir la estructuración de las tarifas según meses, periodo de contratación, compañía suministradora, etc.. En el proceso de simulación de *Evolución temporal*, se utilizan los *Días Tipo* (*Modulaciones de Tar*ifa) seleccionados con el ratón antes de *Aceptar* En caso de haber selección alguna, GESTAR utiliza las tarifas del *Día Tipo* nº 1.

Confección de consignas lógicas de actuación de nodos y elementos

Pulsando el botón *Consignas* en la ventana de la FIGURA 9.15, se da paso a otra ventana (FIGURA 9.18) en la que se ofrece la posibilidad de condicionar determinadas acciones durante la evolución temporal al valor de diversas variables hidráulicas de los componentes del sistema. Para ello se confeccionarán instrucciones

lógicas que, en función del resultado de la comparación de los valores de ciertos parámetros con sus umbrales, desencadenan procesos de apertura-cierre (marcha paro en el caso de equipos de bombeo).

	Condición —		
Acción condicionada:	Ti <u>p</u> o de nodo o elemento	: <u>V</u> ariable:	
Abrir	Nodo de Unión	Presión	-
<u>T</u> ipo de nodo o elemento:	Identificativo	C <u>o</u> nsigna:	
Conducción 🗨	NU2	▼ mayor	•
vir Conducción TU2 el Presión en I	Nodo de Unión NUI2 de mayor que	0 metres	— Añadira la
prir Conducción TU2 si Presión en l	Nodo de Unión NU2 es mayor que	e O metros	Añadir a la Lista
prir Conducción TU2 si Presión en l .ista de Consignas	Nodo de Unión NU2 es mayor que	e 0 metros	Aña <u>d</u> ir a la Lista
prir Conducción TU2 si Presión en l .ista de Consignas	Nodo de Unión NU2 es mayor que	e 0 metros	Añadir a la Lista Borrar

FIGURA 9.18 Órdenes en el transcurso de la evolución temporal.

◆ Acción. En el cuadro Acción de la ventana se establecerá mediante los cuadros desplegables Acción condicionada y Tipo de nodo o elemento una de estas posibilidades:

Arrancar/Parar Elemento Bomba.

Abrir/Cerrar Elemento Tubería.

Abrir/Cerrar Nodo de Consumo Conocido.

Abrir/Cerrar Nodo Hidrante Regulador.

Abrir/Cerrar Emisor.

Abrir/Cerrar Aspersor.

Para seleccionar el *Nodo* o *Elemento* en concreto, desde el desplegable *Identificativo* se accede a un listado con todos los existentes en la red en función de la tipología seleccionada desde el cuadrante anterior.

• *Condición*. En el cuadro contiguo se establece la condición cuyo cumplimiento hará que se realice la acción establecida. Las variables que se permite utilizar (mediante los desplegables *Tipo de nodo o elemento y Variable*) son:

Nodo Balsa: nivel de agua. Nodo de Unión: presión. Nodo de Consumo Conocido: presión. Nodo Hidrante Regulador: presión. Elemento Tubería: caudal.

Emisor: caudal.

En función del tipo escogido, se despliegan los *identificativos* existentes en la red debiendo seleccionar aquel al que se desea relacionar la señal lógica. Desde el cuadrante consigna se puede modificar la configuración considerando que la acción sea ejecutada cuando el valor de la variable obtenido sea menor que el de consigna (aparecerá por defecto la opción *mayor*).

• *Valor de consigna.* Desde esta casilla se fijará el valor límite de la variable a partir del cual actuará la lógica especificada. Junto a la casilla, se especifican las unidades, en función de la variable escogida.

Según se van configurando la acción y la condición, en el cuadro de texto inferior se actualiza la consigna resultante.

- *Añadir a la Lista* pasará la consigna actual a la lista de consignas. El número máximo de consignas simultáneas por defecto está establecido en 25, pudiendo incrementarse bajo demanda.
- *Borrar* elimina la consigna de la lista que se encuentre seleccionada.
- *Borrar Todo* elimina todas las consignas de lista.

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

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

En el caso de que se requiera que durante el análisis algún *Nodo* o *Elemento* no se vea afectado por las consignas temporales configuradas, deberá modificarse en la columna *Prioridad* de la tabla de la FIGURA 9.15, el valor 2 fijado por defecto. En su

lugar deberá designarse el valor 1, quedando desactivadas las consignas para ese *Nodo* o *Elemento*.

9.5.3 ANÁLISIS DE ESCENARIOS DETERMINISTAS CON EVOLUCIÓN TEMPORAL

Cursor de consulta de resultados de escenarios temporales.

Cuando la tabla de *Programación Temporal* (FIGURA 9.15) ha sido confeccionada, y se ejecuta la simulación de *la Evolución Temporal* mediante el botón *Ejecutar*, el proceso de progresión del cálculo aparece en una ventana esquematizado por una barra de evolución. El conjunto de avisos relativos a las alarmas deberán irse aceptando, hasta concluir el conjunto de intervalos o abortar la simulación. Una vez que la simulación concluye, o en el momento en que se aborta por parte el usuario a raíz de la aparición de alguna alarma, es posible inspeccionar los resultados en cada *Intervalo de Simulación* mediante la ventana de la FIGURA 9.19, *Cursor de Evolución Temporal*, que se despliega automáticamente y que contiene un cursor que permite acceder a los diversos *Intervalos de Simulación*.



FIGURA 9.19 Cursor de Evolución Temporal.

Para pasar de un intervalo a otro, basta con pulsar los botones contiguos a la casilla numérica (botones **1**) **b**) o pulsar con el ratón directamente sobre ésta e introducir el número correspondiente al intervalo que se desea visualizar, (número central). Además tenemos la opción *vídeo* para ver toda la secuencia temporal seguida, caso por caso, con las opciones de *pausa* y *parada* en cualquier momento de la evolución (botones **1**). En la parte inferior izquierda, se indica el momento al que corresponde el escenario que se muestra.

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

• **Botón** Si han existido alarmas en el intervalo temporal, el botón *Informe* de la ventana *Alarmas* facilita un listado de las variables en *Nodos* y *Elementos* que han generado alarma en dicho intervalo.

- **Botón** . Muestra la ventana *Tablas para gráficos*, para desde allí realizar, la visualización gráfica de la evolución temporal de una de sus variables. Se detalla su uso a continuación.
- **Botón** Da paso a la ventana *Resultados*, la cual muestra los valores de las variables en *Nodos* y *Elementos* en el intervalo actual visualizado(ver pág. 73).

Botón El botón *Guardar* permite almacenar, en ficheros de tipo *Excel* (".xls") o de texto (".txt") todos los valores de las variables de la red en todos los intervalos de la *Evolución Temporal* efectuada. Considere una posible limitación del tiempo de simulación exportado para no saturar la capacidad de los ficheros de salida.

Tablas y gráficos de resultados en Evolución Temporal.

Una vez efectuadas simulaciones con *Evolución Temporal*, GESTAR posibilita la obtención de tablas y representaciones gráficas en las que se registra o visualiza el valor a lo largo del tiempo de una o más variables seleccionadas por el usuario.

Para acceder a estos recursos, se pulsará el botón en la barra de *Menús* o en la ventana del *Cursor Evolución Temporal* (FIGURA 9.19).

Datos	— Tipo de Tat	ola T	ipo de nodo:		
De toda la rod		Fijo B	alsas	-	
C Selección gráfica	C <u>E</u> lemer C Variab	ntoFijo Ba le <u>f</u> ija B	alsas	•	
Instante	Nivel	Altura Piez	Consumo	Volumen suministrado	ç.
01:50:00	3 472473	118 4725	n Consumo	1475 9133087	
02:00:00	3 472084	118 4721	-0.03426	1496 6246727	
02:10:00	3 471832	118 4718	-0.02224	1510 0238999	
02:20:00	3.4589	118,4589	-1.14284	2195,8861413	
02:30:00	3.458702	118,4587	-0.01727	2206.3705233	
02:40:00	3,458488	118,4585	-0,01863	2217,6601724	
02:50:00	3,458488	118,4585	0	2217,6601724	
03:00:00	3,445595	118,4456	-1,13156	2896,7210190	
03:10:00	3,432709	118,4327	-1,12309	3570,7605319	
03:20:00	3,419861	118,4199	-1,11238	4238,2069956	
03:30:00	3,406654	118,4067	-1,13524	4919,4968801	
03:40:00	3,393265	118,3933	-1,14284	5605,2806893	
03:50:00	3,37999	118,38	-1,12491	6280,2807123	
04:00:00	3,366608	118,3666	-1,12578	6955,7511982	
04:10:00	3,352921	118,3529	-1,14284	7641,4736880	
			⊻er Gráfico	Cancelar	

FIGURA 9.20 Tablas para Gráficos.

La Tabla de la FIGURA 9.20 muestra los valores de las diversas variables susceptibles de ser representadas gráficamente, en función del tipo de tabla que se elija entre las opciones disponibles. Cada fila de la Tabla corresponde a cada uno de los *Intervalos de Simulación*, definidos en la evolución temporal calculada, mientras que cada columna está asociada a un *Nodo*, a un *Elemento* o a una variable determinada de un *Nodo* o *Elemento*, según la elección que se realice en las opciones que ofrece esta ventana. En la parte superior aparecen los bloques, *Datos y Tipo de Tabla*, que sirven para seleccionar las restricciones y tipos de variables a visualizar.

- ◆ Datos: (temporalmente desactivado). Si antes de pulsar el botón Gráficos (botón
 ▶) se ha establecido una Selección (ver pág. 77), en la Tabla para Gráficos la casilla Selección Gráfica se encontrará activada. En tal caso solamente serán accesibles los datos correspondientes a los Nodos y/o Elementos seleccionados. Cuando se activa la casilla De toda la red, se accederá a los datos de todos los complementos, opción que será reversible respecto a la anterior. Si previamente no se ha seleccionado gráficamente componentes sobre el Mapa de la Red la ventana se configurará con la opción De toda la red y la casilla Selección Gráfica no podrá ser activada.
- **Tipo de Tabla:** Dispone de tres opciones, que permiten definir el tipo de tabla y, por tanto, el tipo de variables que aparecerán en la representación gráfica:

Nodo Fijo: El *Nodo* se debe definir en la lista desplegable contigua, donde se selecciona el tipo de *Nodo*. Las magnitudes hidráulicas que se pueden visualizar para cada *Nodo* son las siguientes:

- Nodos de Unión: Presión y Altura Piezométrica.
- Balsas: Nivel, Altura Piezométrica, Consumo y Volumen Suministrado.
- Nodos Presión Conocida: Presión, Consumo y Altura Piezométrica, Margen de Presión y Presión de Consigna.
- Nodos Consumo Conocido: Presión, Altura Piezométrica, Consumo, Margen de Presión y Presión de Consigna.
- Emisores: Consumo.

Elegida la tipología, desde el siguiente despegable el usuario podrá seleccionar el *Identificativo* del *Nodo* en cuestión del tipo seleccionado (de entre los existentes en la red).

Elemento Fijo: Similar al anterior, pero para *Elementos*. Las magnitudes que se muestran para cada tipo de *Elemento* son:

- Tuberías: valores instantáneos de Velocidad, Caudal y Pérdida de Carga.
- Válvulas: valores instantáneos de Velocidad, Caudal y Pérdida de Carga.

- Bombas individuales: valores instantáneos de Velocidad, Caudal, Pérdida de Carga (-altura de impulsión) Potencia (absorbida), Energía (consumida hasta el instante) y Rendimiento, para cada Elemento Bomba (que puede representar un equipo de bombeo individual, o una estación de bombeo)
- Costes Energéticos*: Coste de la Energía Total consumida en todos los Elementos Bomba y de la Potencia Contratada hasta el instante, según las Tarifas definidas según pág. 288.
- Estación de Bombeo*: valores instantáneos, comprendiendo todos los Elementos Bomba, de: Energía Absorbida Total, Rendimiento Conjunto (del conjunto de los Elementos Bomba, equivale a EEB instantáneo, ver definición en pág. 316), ESE instantáneo (Eficiencia Suministro Energético, en %, ver pág. 316). También indica los valores Rendimiento Acumulado (del conjunto de los Elementos Bomba desde el origen de la Evolución Temporal hasta el instante, equivale a EEB del periodo) y ESE (%) Acumulado (desde el origen de la Evolución Temporal hasta el instante).

Para acceder a la tabla de resultados referentes a *Costes Energéticos* y a la *Estación de Bombeo* en su conjunto: una vez seleccionado en el primer desplegable el tipo de *Elemento* bomba, quedarán habilitadas las opciones *Costes Energéticos* y *Estación de Bombeo* en el segundo desplegable (tras los identificativos de las bombas individuales).

Variable Fija: Tras seleccionar una variable de entre las siguientes, *Presión, Altura Piezométrica, Consumo, Velocidad, Caudal, Nivel, Pérdida de Carga y Margen de Presión,* en la lista desplegable contigua, en cada columna de la tabla se establecen los valores que adopta dicha variable en cada *Nodo* o *Elemento*, según proceda por el carácter de la variable seleccionada.

La selección de la variable o variables a representar gráficamente se realiza seleccionando con el ratón el encabezamiento de la columna correspondiente de la tabla. Las columnas seleccionadas pasan a tener un fondo de color azul. Para cancelar la selección de una columna previamente seleccionada, basta con volver a hacer clic en su encabezamiento

Si se realiza un doble clic sobre el encabezamiento de una columna, toda la representación tabular se ordenará según la secuencia de valores crecientes, en vez de temporal, de la columna elegida. Si se desea recuperar la ordenación temporal, basta con hacer doble clic en la primera columna *Instante*.

Una vez adecuada la *Tabla para Gráficos* a las necesidades del usuario mediante las operaciones arriba descritas, se puede proceder a la representación gráfica.

Los valores de la *Tabla para Gráficos* no pueden exportarse directamente. Pueden exportarse desde la ventana del Gráfico que se genera con ellos.

• Ver gráfico. Al pulsar el botón Ver *Gráfico*, GESTAR procede a mostrar la representación gráfica de las columnas seleccionadas en la ventana *Gráfico de Evolución Temporal*.



FIGURA 9.21 Ejemplo Visualización Gráfico

Los gráficos que GESTAR proporciona tienen siempre como variable asociada al eje de abcisas (eje horizontal) la variable tiempo, particularizada en los *Intervalos de Simulación* definidos en la ventana *Evolución Temporal*. En el eje de ordenadas se representan los valores de las variables (una o varias, del mismo tipo o distinto) que el usuario ha seleccionado.

Cada variable aparecerá representada con un color asignado por defecto por el programa. Para una mayor claridad y mejor identificación de las variables representadas se recomienda visualizar simultáneamente menos de 10 parámetros. Según la selección hecha en *Tablas para Gráficos* aparecerá un encabezamiento del gráfico que identificará la variable (con sus unidades), el *Nodo* o el *Elemento* que han sido seleccionados para representar en el bloque *Tipo de Tabla*. En la parte inferior del gráfico, bajo el eje de abscisas, una leyenda asociará cada línea de color a la nomenclatura del *Nodo* o *Elemento* del que se muestra la variable fija, o bien las distintas variables (con sus unidades) que aparecen en la figura para un *Elemento* o *Nodo* determinado, todo ello según se haya especificado en el bloque *Tipo de Tabla* de la *Tabla para Gráficos*. En la parte superior de la ventana que contiene el gráfico (FIGURA 9.21) existe un menú con diversas opciones: de configuración del gráfico en

su apariencia, de exportación del gráfico y sus y optimización de la presentación de los datos:

- Menú Archivo/ Exportar. Desde aquí tenemos 2 opciones para exportar el gráfico: en formato*.gif, donde se incluye el gráfico como dibujo, o en formato de texto donde se extraen los datos numéricos.
- Menú Archivo/ Salir. Cierra la ventana del Gráfico.
- **Menú Edición**/ **Copiar** de la imagen en el portapapeles en formato Metarchivo Windows. El pegado de la misma en cualquier documento Office (Pegado especial/ Metarchivo Windows) permite incluir la imagen y editarla si fuera preciso.
- Menú Gráfico/ Leyenda. Se activa/desactiva la leyenda.
- Menú Gráfico/ Título. Permite acceder a se puede asignar un nombre al *Gráfico*.
- Menú Gráfico/ Ver datos. Para visualizar los datos numéricos sobre las líneas del gráfico..
- Menú Gráfico/ Optimizar. Dado que en un mismo gráfico cabe la posibilidad de representar distintas variables o una misma variable con valores absolutos muy distintos entre sí, esta opción realiza una presentación de tipo exponencial donde la escala vertical muestra la mantisa (entre 0 y 10) mientras en la leyenda indica la potencia de 10 por al que hay que multiplicar los valores leídos para obtener los valores absolutos.

Al posicionarse sobre un *Nodo* o *Elemento* y hacer clic sobre el botón derecho del ratón, además de la información obtenida en el resto de simulaciones (ver pág. 275), el usuario tras un análisis en *Evolución Temporal*, podrá acceder de manera directa a *Gráficas de Evolución* de variables diversas en función de la tipología del *Nodo Elemento* escogido.

10 VALORACIÓN DE COSTES ENERGÉTICOS Y OPTIMIZACIÓN DE REGULACIONES EN ESTACIONES DE BOMBEO

10.1 UTILIDADES

GESTAR introduce herramientas únicas en su género, innovadoras y eficaces, que permiten evaluar de forma racional y detallada las prestaciones de Estaciones de Bombeo y sus costes energéticos asociados, en función de la composición de bombas, tipo de regulación empleada y características de la red de distribución, con total generalidad. Estos recursos son de interés para el mejor diseño de estaciones de bombeo, la gestión energética de bombeos y la auditoria y rehabilitación de sistemas de bombeo.

En virtud de la explotación de las herramientas que ofrece GESTAR puede optimizarse:

- □ La selección del número, tipo y regulación de los equipos de bombeo en la fase de diseño.
- □ La regulación más adecuada a las características de un sistema en explotación para la reducción de los gastos energéticos.
- □ La definición e identificación de las modificaciones precisas en sistemas en explotación ineficaces u obsoletos.

Las utilidades necesarias se encuentran, por una parte, asociadas a las herramientas de *Evolución Temporal*, descritas en el Capítulo 9.5, en lo referente al cómputo de costes energéticos para programaciones de riego deterministas, con estaciones de bombeo ya configuradas. El resto, se agrupan en la Barra de Menús: *Regulación Bombeo*, que permite efectuar las siguientes funciones:

- Curva de Consigna (ver pág. 298).
- Selección de Bombas (ver pág.300).
- Función de Probabilidad del Caudal Bombeado (ver pág.303).
- *Regulación de Bombeo*(ver pág.305).

• Costes energéticos (ver pág. 310).

Las herramientas pueden ser invocadas de forma individual, o integradas en la opción "Regulación bombeo/ Costes Energéticos".

10.2 CURVA DE CONSIGNA

La curva de consigna de la red se define como la relación entre la altura de presión a suministrar en cabecera, debiendo ser suficiente para todos los *Nodos* de consumo operativos y el caudal demandado para cada uno de los posibles escenarios. La red deberá cumplir una serie de restricciones para la obtención de la curva de consigna por parte del programa. Así, en las actuales versiones deberá tratarse de una red **ramificada**, con un **único punto de altura piezométrica** (mediante técnicas de Análisis Inverso estas restricciones puede obviarse, actualmente están en implementación) *Nodo Embalse* o *Nodo Balsa*. No puede haberse implementado un *Elemento Bomba* en cabecera, debiendo ser la *Altura Piezométrica* en el punto de aspiración la mínima posible. Las pérdidas de los equipos de bombeo y filtros deberán modelarse como pérdidas singulares en el primer tramo de la red.



FIGURA 10.1 Ejemplo topología red para obtención Curva Consigna

Durante el proceso de cálculo desde GESTAR se generan aleatoriamente escenarios de funcionamiento para diferentes porcentajes de demanda, dentro del rango indicado y se determina, para cada escenario, la altura de impulsión requerida en cabecera para dar la presión de consigna al *Nodo* más desfavorable abierto en el escenario (ver Anexo X, pág. 420).

El usuario accede a la ventana de la FIGURA 10.2.

Caudales: Analizar hasta Q (m3/s): 0,87	Número de sorteos: 100
Q diseño: 0,87 Q max: 1,14	
Ajuste curva:	
H=Hmin + k Q ⁺	Aceptar Cancelar

FIGURA 10.2 Cuadro de diálogo Cálculo Curva de Consigna

- **Caudales.** Rellenando la casilla *Analizar hasta Q*, se delimitará el cálculo de la curva de consigna hasta el caudal deseado por el usuario (en m^3/s). Por defecto aparecerá implementado el caudal de diseño de la *Tubería* que parte del *Nodo* de *Cabecer*a. En las etiquetas de *Q diseño* y *Q max* se muestran el caudal de diseño considerado en la red y el caudal máximo trasegado por la red cuando todos los *Nodo*s son operativos, respectivamente.
- Número de Escenarios. Indica el número de escenarios a simular para cada porcentaje de caudal, respecto al total instalado, trasegado en cabecera; Viene predefinido con el valor de 100 e., pero se recomienda un número de Escenarios mínimo igual a 3 veces el número de hidrantes de la red.
- **Paso.** Incremento porcentual, respecto del caudal acumulado, en que se incrementará al caudal anterior partiendo de Q=0 m³/s para obtener los niveles de simultaneidad en los valores se realizará el número de escenarios aleatorios fijados en la casilla previa. El porcentaje se incrementa hasta alcanzar el correspondiente al valor dado en *Analizar hasta Q*.
- **Calcular.** Al pulsar este botón se iniciará el proceso de cálculo. Los resultados obtenidos son exportados a un documento EXCEL (ver pág. 224), que será guardado donde el usuario defina (desde GESTAR se abrirá la ventana *Guardar Curva del Sistema* para tal fin). En este documento se suministran los puntos envolventes de las máximas y mínimas y la curva de consigna recomendada (fiabilidad igual a la garantía de suministro en cabecera). La curva de consigna máxima (envolvente de los requisitos de presión máximos absolutos para cada % de demanda) está del lado de la seguridad ya que tiene una fiabilidad casi del 100%, pero energéticamente es ineficaz. La curva de consigna mínima (envolvente de los requisitos de presión mínimos absolutos para

cada % de demanda) es inaceptable por no satisfacer los requisitos de presión en casi ningún escenario de consumo (fiabilidad tendente a cero).

- Exportar Casos Intermedios. Si se activa esta casilla previa al cálculo, además de la tabla con los valores de definición de la curva de consigna con un grado de fiabilidad igual a la garantía de suministro en cabecera, el usuario obtendrá en formato EXCEL información detallada acerca de cada uno de los escenarios aleatorios generados para cada valor de caudal trasegado, obteniendo la nube de puntos de las presiones demandadas en cabecera en todas las simulaciones. A partir de estos resultados, el usuario podrá establecer curvas de consigna con grados de fiabilidad cualesquiera.
- Ajuste Curva. Los resultados obtenidos siguen un ajuste parabólico de la forma:

$$H = H_{min} + Ks Q^2$$

10.3 SELECCIÓN BOMBAS

El objetivo de este menú es facilitar recursos para obtener de forma inmediata *Curvas Características* de *Bombas* que cumplan ciertas condiciones operativas. Para ello se dispone de dos procedimientos. El primero de ellos permite sintetizar unas curvas características hipotéticas de tipo parabólico que pasan por puntos de altura de impulsión y caudal nominales especificados, con un rendimiento máximo dado. El segundo permite la selección de la bomba de la *Base de Datos de Bombas*, y la recuperación de sus *Curvas Características* por medio de las herramientas documentadas previamente en pág. 116. Se accede al cuadro de diálogo de la FIGURA 10.3.

H nominal (m) 0,00	Coeric				
			a vomba:		
2 nominal (m3/s) 0,87	Curva	ų-H: P		~	
ະ ເຫ	A=	B=		L=	
	Curva	Rendimiento:			
Hend (%) 70	F=		G=		
V ^e bombas total 2					
njas + vanabicj.			Γ	Calcular	
			L		
Buscar Bomba	Q m3/s	Hm	P kw	Rend %	*
					H
_					
-					
-					
-					-
	e III.				

FIGURA 10.3 Selección de Bombas.

Bomba Sintética

Las curvas característica H-Q y R-Q se configuran con los siguientes requisitos, que conducen a condiciones que se ilustran en la FIGURA de la pág. 302.

La curva H-Q se aproxima por un polinomio de segundo grado, con coeficientes A, B, C.

La curva de rendimiento R-Q se aproxima por un polinomio de segundo grado, con coeficientes F, G y sin término independiente.

Para el *Caudal Nominal*, caudal de diseño, Q_d ; a suministrar con el número de bombas que se indica en la casilla correspondiente, la curva genera la *Altura Nominal*, altura de diseño, H_d , ambos valores dados por el usuario.

La curva H-Q tiene pendiente nula (es horizontal) para Q=0.

La curva *H-Q*, para caudal nulo, suministra una altura de impulsión (*Ho*) dada por $Ho=(1+P/100) \times H_d$, siendo *P* un parámetro (incremento de sobrepresión, respecto a la H_d , en porcentaje, a caudal cero) dado por el usuario.

Para el caudal nominal la bomba tiene su máximo rendimiento, también dado.

Para el caudal máximo, altura de impulsión nula, el rendimiento ha de ser nulo.

Las tres primeras condiciones permiten calcular los coeficientes A, B y C. Las dos últimas F y G (el tercer coeficiente, término independiente del polinomio de la curva de rendimiento, es nulo, dado que el rendimiento a caudal nulo también lo es).



FIGURA 10.4 Generación de la Bomba Sintética

Desde la ventana de la FIGURA 10.3 se introducen los valores necesarios en las diversas casillas.

- La *H nominal* y *Q nominal* indican el punto de diseño de la bomba (o en su caso de la estación de bombeo compuesta de bombas con curvas características idénticas), punto para el cual se supone que el rendimiento será el mas alto.
- El criterio de holgura *P* % indica el incremento de la altura a caudal cero respecto la *Altura Nonimal* para el *Caudal Nominal*.
- El *Rend* (%) indica el rendimiento máximo de la bomba, el cual se produce para el caudal de diseño de cada bomba, siendo este caudal coincidente con el resultado de dividir el *Caudal Nominal* entre el *Número de Bombas Total*.
- El Nº de Bombas Total se define como el número de bombas idénticas que componen la estación de bombeo en paralelo, suponiéndose además que una es de velocidad variable y las demás, de velocidad fija.

10.4 FUNCIÓN DENSIDAD DE PROBABILIDAD

La *Función de Densidad de Probabilidad (FDP)* del caudal demandado, permite sintetizar la distribución de caudales de alimentación, en un punto de entrada a la red, a lo largo de un lapso temporal, que abarca la campaña entera, o bien periodos mensuales. La *FDP* del caudal demandado, en un punto de alimentación, equivale a conocer la distribución de frecuencias relativas de cada caudal en dicho punto. Esta información es de utilidad en la simulación de procesos de consumo de agua y, especialmente, en la predicción de consumos energéticos a lo largo de un periodo amplio de tiempo, si la alimentación se realiza por bombeo directo.

En redes a la demanda de tipo ramificado, los caudales en cabecera corresponden a una sucesión de diferentes escenarios aleatorios, que se modifican con la apertura y cierre de las tomas de riego. En consecuencia, el caudal en cabecera puede ser considerado una variable aleatoria continua, cuya *FDP* se puede calcular (Esperanza, 2007) mediante la extensión de las ideas contenidas en (Roldan *et al.*, 2003). Por el contrario, en redes de riego a turnos, la *FDP* puede ser inferida de los calendarios de riego programados según los cultivos existentes y los turnos establecidos. Finalmente, en cualquier tipo de red en funcionamiento en que exista un registro de caudales significativo, pueden extraerse las frecuencias relativas de cada caudal de los datos experimentales, que a su vez generán la *FDP*.

El cálculo de la *Función de Densidad de Probabilidad* de los caudales en cabecera de una red ramificada a la demada , para un periodo constituido por un cierto número de meses (FIGURA 10.5), se aborda en GESTAR mediante de la combinación de *Funciones de Densidad de Probabilidad* mensuales de tipo Normal, dependientes de las necesidades hídricas diarias del mes, de la configuración topológica, de las dotaciones de los hidrantes, y de las parcelas y cultivos, conduciendo a la función de densidad de probabilidad supuesta para las demandas en la red. En el Anexo XI, se documenta el significado y construcción de la *FDP* de un cierto periodo.



FIGURA 10.5 Función Densidad de Probabilidad. de cuadales demandados

Al acceder a esta herramienta mediante el menú Regulación Bombeo/ Función de Probabilidad del Caudal Bombeado, se evalúa la FDP de los caudales, en el punto

de alimentación, **de redes estrictamente ramificadas funcionando a la demanda**. Al usuario se le ofrece la ventana mostrada en la FIGURA 10.6.1. En caso de conocer la *FDP*, como frecuencia relativa de cada caudal consultar el apartado 10.6.1, pag. 311

🙇 Función d	e Densidad de	Probabilidad del Caudal			×
- Necesidades	s diarias (mm): —	🗌 🛛 Franjas horarias tarifas eléctricas: —			
	🖻 🔒	O NO aplicar franjas horarias			
Enero:	0.00	G Antions francisco horarizas	Valle	Llano	Punta
Febrero:	0,02	 Aplical harijas noralias.; 	12 h	∣ ∘ n	1 4 h
Marzo:	0,66	– Jornada Efectiva Riego			
Abril:	0,8		Reparto de	la iornada efect	iva de riego:
Mayo:	1,88	JEH: 18 h	Valle	Llano	Punta
Junio:	2,65		9 h	6 h	3 h
Julio:	4,5				
Agosto:	4,09	Reparto de los tiempos de riego: —			
Septiembre:	1,4	C Reparto lógico - económico			
Octubre:	0,00		Valle	Llano	Punta
Noviembre:		Reparto por % de volumenes co	onocidos: 50	% 33	% 17 %
Diciembre:	10,00	∐	Valle L	lano P	unta
Q límite (m3/s):	0,87	Mes máximas necesidades:	%	%	%
Paso Q (I/s):	1	🔽 Exportar medias y varianza	Ger	erar Función	Cancelar
		Exportar FDP anual y mensual		iorari ancioni	

FIGURA 10.6 Función de Densidad de Probabilidad del Caudal.

• Necesidades Diarias. Al realizar desde GESTAR el cálculo de la *Función de Densidad de Probabilidad del Caudal*, se permite incorporar la heterogeneidad en la demanda para los diversos meses de la campaña. Desde este cuadrante se definirán las *Necesidades Hídricas Diarias* para

cada mes, expresadas en mm. Mediante el icono \square el usuario podrá guardar en formato de texto las necesidades diarias definidas para un determinado supuesto, permitiendo ser cargadas de nuevo en cálculos posteriores a través del icono \square .

- Franjas Horarias Tarifas Eléctricas. Este modelo, si el usuario lo requiere, también tiene en cuenta la discriminación de tarifas por franjas (valle, punta y llano) Se deberá activar la opción *Aplicar Franjas Horarias*, apareciendo en las correspondientes celdillas los valores del número de horas predefinidos para cada tarifa que se muestran en la FIGURA 10.6. Éstos podrán ser modificados a criterio del proyectista.
- Jornada Efectiva Riego. Se deberá fijar el número de horas al día efectivas de riego, asignándose por defecto un valor de 18 h. En el supuesto de que se aplique la discriminación de tarifas, será necesario repartir la *JER* entre las diferentes franjas horarias, siendo los valores predefinidos los que se encuentran en la FIGURA 10.6 en cada una de las celdillas.

- **Reparto de los Tiempos de Riego.** Actualmente se encuentra implementada la opción para el reparto de los tiempos de riego entre las diferentes franjas horarias, si el usuario ha decidido que sean tenidas en cuenta las diferentes tarifas eléctricas, *por % de volúmenes conocidos,* siendo los valores que se facilitan por defecto los que se reflejan en la
- Q limite y Paso Q. Aparecen a la izquierda en la parte inferior de la ventana (FIGURA 10.6) dos celdillas para definir el *Caudal Límite* hasta el cual se construirá la función y el *Paso de Caudal* en el que se incrementará el caudal desde el valor 0 para obtener los diferentes valores para los que se calculará la probabilidad de demanda.
- Exportar Medias y Varianzas. Activando esta casilla, se genera desde GESTAR una hoja EXCEL con los valores mensuales de las *medias* (promedio aritmético de las observaciones) y de la *varianza* (medida de la variabilidad, es el promedio del cuadrado de las distancias entre cada observación y la media del conjunto de observaciones) referentes a las probabilidades de apertura.
- **Exportar FDP Anual y Mensual.** El usuario obtendrá en la hoja EXCEL con los resultados de la función de probabilidad de demanda mensual y anual para cada uno de los valores de caudal requeridos.

10.5 REGULACIÓN BOMBEO

Esta herramienta soluciona de forma ágil y fiable la definición de las curvas de actuación globales para regulaciones con bombas de velocidad fija, bombas de velocidad variable, y regulaciones compuestas por una combinación de bombas de ambos tipos. En cualquiera de los casos, se pueden configurar un número arbitrario de bombas, de igual o diferente tamaño.

De este modo, las *Curvas de Actuación* de una estación de bombeo *(Potencia-Caudal, Altura-Caudal y Rendimiento-Caudal)*, dada la composición de grupos de impulsión y el tipo de regulación a estudio, pueden ser obtenidas mediante la este módulo, cuya ventana de configuración se muestra en la FIGURA 10.16.

BOMBAS DE VELO	ICIDAD FI	IJA			BOMBAS DE VELOCIDAD VARIABLE Comment Comment Funcionamiento secuer Funcionamiento simultá
pm 📃	>>		< 🜌		de datos rpm 🖉 % 🔛 😕 🛃 Base de dat
Q m3/s	Hm	P kw	Rend	%	250.4.255 250.4.255 250.4.255
	Acep	otar C	Cancelar	+	Aceptar Cancelar Secuencia Bombas Fijas
Bomba/Estado	Acer	otar C	Cancelar	4	Aceptar Cancelar
Bomba/Estado	Ace;	otar C	Cancelar 3	4	Aceptar Cancelar Secuencia Bombas Fijas Bomba Q cotte CP-125_250A/255 0.150 0.150 0.150 0.286
Bomba/Estado - CP-125_250-A-25 - CP-125_250-A-25 - CP-125_250-A-25	Acep 1 5 0 5 0	otar C	Cancelar 3 1 1	4	Aceptar Cancelar Bomba Q corte CP-125_250A.255 0.150 CP-125_250A.255 0.150 CP-125_250A.255 0.150
Bomba/Estado = - CP-125_250-A-25 = - CP-125_250-A-25 = - CP-125_250-A-25 = - CP-125_250-A-25 = - CP-105_310-4-33	Ace;	otar C 2 1 0 0	Cancelar 3 1 1 0	+ 1 1 1	Aceptar Cancelar Secuencia Bombas Fijas Secuencia Bombas Variables Bomba Q cote CP-125_250A.255 0.150 CP-125_250A.255 0.150 CP-125_250A.255 0.150 CP-125_250A.255 0.150
Bomba/Estado = -CP-125_250-A-25 = -CP-125_250-A-25 = -CP-125_250-A-25 - CP-150_310-A-25 - CP-150_310-A-25 - CP-100_310-A-25 - CP-100_310-A-	Ace;	0tar () 2 1 0 0 1 0.4321	Cancelar 3 1 1 0 1 0.5753	+ + 1 1 1 1 1 0.7143	Aceptar Cancelar Secuencia Bombas Fijas Bomba Q corte CP-125_250.4.255 0.150 CP-125_250.4.255 0.150 CP-125_250.4.255 0.150
Bomba/Estado = - CP-125_250-A-25 = - CP-125_250-A-25 = - CP-125_250-A-25 = - CP-125_250-A-25 - CP-150_310-A-32 Caudal de corte % rpm	Aces 1 5 0 5 0 5 0 1 0,4284 100,000	2 1 0 0 1 0,4321 100,000	Cancelar 3 1 1 0 1 0,5753 100,000	+ + 1 1 1 1 0,7143	Aceptar Cancelar Secuencia Bombas Fijas Bomba Q corte CP-125_2504.255 0.150 CP-150_310A-320 0.286 CP-125_2504.255 0.150 0.150 0.286
Bomba/Estado = -CP-125_250-A-25 = -CP-125_250-A-25 = -CP-125_250-A-25 - CP-105_310-A-32 Caudal de corte % rpm Bomba variable	Ace; 1 5 0 5 0 1 0,4284 100,000 50_310-A	2 1 0 1 0,4321 100,000 50_310-A	Cancelar 3 1 1 0 1 0,5753 100,000 50_310-A	4 1 1 1 1, 0,7143 50_310-A	Aceptar Cancelar Aceptar Cancelar Bomba Q corte CP-125_250A.255 0.150 Calcular caudales de corte Calcular prestaciones de la eta cón de booben

FIGURA 10.7 Ventana Regulación Bombeo.

- Bombas de Velocidad Fija/ Bombas de Velocidad Variable. Los dos cuadrantes de la parte superior del cuadro de diálogo que se recogen en la FIGURA 10.16 tienen una estructura similar, por lo que se explicarán a continuación de forma simultánea.
 - *Comment*. En este campo se puede introducir un código identificador de la bomba. Si no se introduce nada, se toma por defecto un número.
 - *Rpm*. En esta casilla se introduce la velocidad de giro de nominal bomba que corresponde a las curvas características introducidas.
 - %. Si la bomba es de velocidad variable, el % indica el porcentaje máximo de *rpm* sobre la nominal, a que se permite girar la bomba para solaparse con el siguiente punto de arranque.
 - Funcionamiento secuencial / simultáneo. Para las Bombas de Velocidad Variable, se supone por defecto que estas trabajan secuencialmente (opción Funcionamiento Secuencial), es decir, una sola de ellas en cada momento. Si hay varias bombas (2 en esta versión) de velocidad variable que funcionaran simultáneamente, a las mismas rpm se elegirá la opción Funcionamiento Simultáneo. Esta última opción podrá activarse una vez se hallan añadido las dos bombas a la lista de edición. al.
 - Tabla Curvas Características. Se introducen puntos discretos de las Curvas Características de cada una de las bombas de la composición. Los datos a introducir para cada fila son el Caudal (^{m3}/s), la Altura (m) y uno mas, a elegir, entre la Potencia (kW) o el Rendimiento (%), siendo el dato que falta calculado con los datos restantes. Para ajustar las Curvas Características de las bombas es necesario introducir más de dos puntos en la tabla.

- Aceptar Bomba Para que la bomba introducida sea aceptada hay que pulsar el botón Aceptar Bomba,
- Lista de edición de Bombas. Una vez que se ha aceptado la bomba, ésta aparece en la lista situada a la derecha de la tabla, y puede ser editada (botón Editar Bomba), eliminada (botón Eliminar bomba) y también pueden visualizarse las gráficas derivadas de la interpolación mediante splines de las curvas H-Q, P-Q y R-Q (botón ver gráfica de las curvas de la bomba).



FIGURA 10.8 Curvas de Altura de impulsión, Potencia absorbida y Rendimiento de la bomba.

 Base de Datos. Los puntos que definen las *Curvas Características* de las bombas pueden extraerse de la utilidad de *Bases de Datos de Bombas*, FIGURA 10.16.

Criterios de búsqueda			
Posición Horizontal Vertical	Punto de servicio buscado Caudal Q (m² /s) Caudal Q (m² /s) Gaudal Q (m² /s)	Altura H (m) 32	Buscar
se de datos mbas.mdb _▼	Modelos: CP-125_250-A	Gráfica H-Q de la bomba	seleccionada
ódigo Modelo R 8 CP-125_200-8 16 7 CP-125_200-8 18 6 CP-125_200-8 19 Image: Second Se	Dedete Serie H (m) P (kW) R (2) A 7 C P 35,52 13,08 66,74 0 CP 42,27 15,75 65,74 0 CP 42,27 15,75 65,74 0 CP 47,97 18,21 64,53 unctonummentor PKW/V NPS-H RENDIM 7,978132 2,777721 0,0 10,84372 13,55655 2,326525 59,8 15,79395 15,793954 2,995153 76,7 17,09616 4,504943 64,1	40 35 H 30 25 20 0 50 Punto de servicio buscado Torneando Rodete hasta: Q2 H2 P2 0,03 32,32 11,3	C-H (C-H (m3/h) (m3/h) (60 R1 4] (69,16
Características bomba	seleccionada		
Modelo	UP-125_200-8	Lod.Bomba 8	
Posición	HURIZONTAL	Hodete (mm) 167	Agregar bomba
Serie	CP	H.P.M Max 3000	

FIGURA 10.9 Elección de Bombas desde una Base de Datos.

- Secuencia de Arranque de las Bombas que componen la estación de bombeo.
 - Calcular Secuencia de Arranque. Una vez definidas las bombas que compondrán la estación de bombeo, GESTAR ofrece la posibilidad de calcular su secuencia de arranque pulsando este botón. La secuencia se muestra por medio de la tabla que aparecerá en la parte inferior izquierda de este mismo cuadro de diálogo, en la cual se representan el estado de funcionamiento en que se encuentra cada bomba de las que componen la estación, según se incrementa el caudal circulante. Un "1" indica que dicha bomba está activa y un "0" que se encuentra parada en una determinada fase de la secuencia. También se representa el Caudal de Arranque de la siguiente bomba en que se produce el cambio de fase de la secuencia, que por defecto corresponde al máximo que cada fase de la secuencia puede suministrar con las bombas en marcha a rpm nominales (BVF)/máximas (BVV), con una altura de impulsión conjunta igual o superior a la demandada por la Curva de Consigna. (Es decir el corte de la composición en paralelo de las Curvas Características H-Q de las bombas activas en este estado a rpm nominales/máximas, con la Curva de Consigna de la red). Además se muestra la bomba que trabaja a velocidad variable en cada estado y el porcentaje máximo de su velocidad angular respecto a la nominal. Si no fuera posible el

recubrimiento entre los puntos de arranque/paro en alguna fase de la secuencia, esto es, que la bomba variable para enlazar con la siguiente fase, excediera las rpm máximas admitidas (superando el límite en % indicado para la bomba), el porcentaje de rpm, respecto a la nominal, necesario para que la bomba de velocidad variable, alcance el recubrimiento se resalta en color rojo, haciendo notar tal circunstancia.

- Editar Secuencia. Si la secuencia calculada no es la deseada, se podrá editar seleccionando este botón. La lista de secuencia de arranque quedará accesible, pudiendo ser modificada por el usuario, el cual grabará o desechará estas modificaciones a través de los botones *Aceptar cambios / Cancelar cambios* que se mostrarán durante el proceso de edición en la parte inferior derecha de la ventana de la FIGURA 10.16. Activando la opción *Editar modulación,* se permite la modificación manual de los caudales de arranque, calculándose de forma automática el % *de r.p.m.* que alcanzará la bomba en el momento que sea suministrado ese *caudal de arranque*.
- Cálculo de las Prestaciones de la Estación de Bombeo. Al presionar este botón, GESTAR generará un *Gráfico* sinóptico (ver FIGURA 10.10) de las *Potencia Absorbida* por la estación de bombeo y del *Rendimiento Conjunto*, como *Curvas de Actuación* principales que permiten una primera valoración de los consumos energéticos y eficiencia resultantes de la composición y regulación introducida. Si se desea obtener una información completa sobre el caso, al pulsar el botón correspondiente de la nueva ventana, se genera un documento EXCEL (ver pág. 228) que recogen las prestaciones de la nueva estación de bombeo, las cuales incluyen resultados como potencia absorbida por cada bomba, rendimiento, altura suministrada por la estación, altura demandada por el sistema, potencia útil y rendimiento global. Todos estos resultados se calculan para el rango de caudales limitados por el caudal nulo y por el máximo introducido en pestaña de *Datos de red*.





10.6 CÁLCULOS ENERGÉTICOS

Por último, desde la opción *Costes Energéticos* del menú *Regulación de Bombeo*, se accede de forma integrada a las herramientas que posibilitan el análisis de las estaciones de bombeo y sus costes energéticos. Por tanto, comprende el conjunto de funciones que pueden ser invocadas de forma individual mediante el resto de opciones del menú *Regulación*.

El usuario deberá acceder a cada una de las pestañas respetando una **secuencia lógica** que se detalla a continuación, coincidente con su ordenación:



FIGURA 10.11 Secuencia de análisis Costes Energéticos

Algunas etapas, como por ejemplo la obtención de la *Curva de consigna*, pueden ser ejecutadas previamente y cargar directamente los valores correspondientes.

10.6.1 DATOS DE LA RED

La primera ventana que aparece través del Menú *Regulación de bombeo* / opción *Costes Energéticos* es la representada en la FIGURA 10.12, desde la que se requieren una serie de datos generales de la red.

Datos de la red	Regulación de la Estación	Datos energéticos	Resultados energético:
Datos generales para	a el análisis		
Q dimensionado 0,00 (m3/s)	H dimensionado 0.00 (mca):	Analizar hasta Q 0,00 (m3/s):	Intervalos Q 1 (I/s):
Curva de consigna — H min 0,00 K: 0.0	00 Curva de consigna	Función de Densidad de Prob JER:	abilidad: Calcular Función
Curva de consigna H min 0,00 K: 0,0 H curva (mca):	00 Curva de consigna H para bomba:	Función de Densidad de Prob JER: JER:	abilidad: Calcular Función Teórica Introducir Función Frecuencias
Curva de consigna — H min 0,00 K: 0,0 H curva (mca):	00 Curva de consigna H para bomba:	Función de Densidad de Prob JER: Nº horas/año: % Tiempo desestimado:	abilidad: Calcular Función Teórica Introducir Función Frecuencias
Curva de consigna — H min 0,00 K: 0,0 H curva (mca):	00 Curva de consigna H para bomba:	Función de Densidad de Prob JER: Nº horas/año: % Tiempo desestimado:	abilidad: Calcular Funciór Teórica Introducir Funció Frecuencias

FIGURA 10.12 Cálculos energéticos. Datos de la red.

- Datos generales para el análisis.
 - El *Q dimensionado* y *H dimensionado* indican el caudal y altura derivados del dimensionamiento de la red. (ver capítulo 1, pág. 229).
 - *Analizar hasta Q* indica el caudal en m³/s hasta el cual se computarán los costes energéticos.
 - *Intervalos Q* (I/s). Los costes energéticos se calcularán desde el valor 0, para cada uno de los valores de Q, obtenidos al sumar al caudal anterior el intervalo definido en esta casilla (en l/s), hasta llegar al caudal máximo a analizar (definido en la casilla *Analizar hasta Q*)
- Curva de consigna. Se ha descrito la forma de obtenerla en pág. 298 y siguientes. Desde GESTAR se facilitan dos modos de actuación al usuario para la definición de dicha curva en este módulo:
 - □ Introducción manual de sus coeficientes, previamente hallados o dados externamente, rellenando las casillas de $H \min$ (altura mínima) y K (coeficiente dimensional) habilitadas.
 - Cálculo de la curva de consigna de la instalación. Se da inicio por medio del botón de *Curva de consigna* en la ventana, al mismo proceso que el definido en el módulo independiente del Menú: *Regulación de bombeo/ Curva de Consigna*.
- Función de Densidad de Probabilidad (FDP). El último cuadrante del cuadro de diálogo representado en la FIGURA 10.12 se destina a la implementación de la Función de Densidad de Probabilidad del caudal bombeado. En el (ANEXO XI), se describen los aspectos conceptuales básicos sobre las propiedades y cómputo de la Función Densidad de Probabilidad. Se ofrecen dos variantes:
 - Calcular Función Teórica. Para evaluar dicha función, en el caso de redes ramificadas en riegos a la demanda que satisfagan las hipótesis de Clement, es necesario pulsar el botón que lleva el mismo nombre, accesible también a través del menú *Regulación bombeo / Función de Probabilidad del Caudal Bombeado*, y cuya operativa ya se ha descrito en el apartado 10.4, pag. 303
 - Introducir Función Frecuencias. Si conoce la distribución de frecuencias relativas de cada caudal, en función de datos experimentales o de la programción de riegos a turnos, puede introducirse esta información para generar la *Función Densidad de Probabilidad* correspondiente. Para ello, bastará con presionar este botón (FIGURA 10.12) e introducir desde el cuadro de diálogo que se muestra en la FIGURA 10.13, pares de puntos en las celdas de caudal y frecuencia relativa de cada caudal en tanto por uno, así como las *Horas Totales de la Campaña de Riego* (o del periodo de estudiado).En el (ANEXO XI) encontará información complementaria.

 calculará	in posteriormente.	une, ya que estos se
Q (m3/s)	Frec.(tanto por uno)	<u>^</u>
		Horas totales de campaña de rieg

FIGURA 10.13 Cuadro de Diálogo Frecuencia de Caudales.

10.6.2 REGULACIÓN DE LA ESTACIÓN

En esta pestaña se agrupan los datos relativos a la obtención de las *Curvas de Actuación de la Estación de Bombeo*.

Datos de la leu	Regulación de la Estación	Datos energéticos	Resultados energéticos
ipo de bombeo			
Regulación con una	bomba de velocidad variable e int	erpolación cuadrática	
– Datos Sistema Bombeo –		•	
Nº bombas velocidad varia	able: 1 Curva característica Q-H:	Curva Rendimier	nto:
Nº bombas total (fijas + variable):	A B C C	F= G=	
(qui randoloji			
Obtener bomba sintética	Calcular Q corte		
- Datos Sistema Bombeo	e interpolacion mediante splines		
Editor			
Euitai			

FIGURA 10.14 Cálculos energéticos. Regulación de la Estación.

Se puede elegir dos tipos de herramientas para obtener las Curvas de Actuación:

Regulación Simplificada:

Regulación Genérica

- Regulación Simplificada:. La estación está compuesta por n bombas de velocidad fija menos una, que es de velocidad variable. Además, todas ellas son idénticas con curvas características de tipo sintético. La composición suministra para el caudal nominal de la estación de bombeo, la altura nominal, y un rendimiento máximo especificado. La bomba de velocidad variable arranca en primer lugar, adaptando su velocidad al punto de la curva de consigna en el que se encuentre el sistema. La primera bomba de velocidad fija (BVF) se pone en funcionamiento cuando el punto de la curva de consigna coincide con el punto de corte de la curva H-Q de la BVF, y así sucesivamente con todas las bombas de velocidad fija que componen la estación.
 - Introducción manual de los coeficientes que definen las curvas H-Q y R-Q. Desde la ventana de la FIGURA 10.8, se rellenan las mismas casillas que el caso de la selección de bomba sintética

H nominal (m) 🛛 🕅 🛛 🗐 🛛	Coefici	entes de una	bomba:	
D nominal (m3/a) 0.97	– Curva I	Q-H:		
2 riominai (m5/s) [0,8/	A=	B=	C=	
P (%) 10				
3end (%) 70	— Curva F	Rendimiento:		
	F=	G=		
V ^e bombas total 2				

FIGURA 10.15 Configuración de las Bombas.

- Calcular Q Arranque. Implementados los parámetros de definición de la curva de las bombas al seleccionar el botón *Calcular Q corte,* se obtendrán los caudales de corte de las composiciones paralelo de la secuencia de bombas en funcionamiento, 1,2,...n. con la *Curva de Consigna* de la red. Estos puntos sirven de referencia en la regulación para indicar el caudal medio de arranque/paro de los grupos.
- □ **Regulación Genérica.** Para introducir los datos de esta opción basta con pulsar el botón *Editar*. Se accede a una ventana (FIGURA 10.16) equivalente en contenido y operativa a lo descrito en el apartado 10.5.

Comment:	CIDAD FI	JA —			BOMBAS DE VELOCIDAD VARIABLE Comment: Funcionamiento secuen Funcionamiento simultán
om 🔽	>>				se de datos
Q m3/s	Hm	P kw	Rend ^e	<u>*</u>	Qm3/s Hm P kw Rend % CP-150_310-A-32 25_250-A-255
	Acep	otar C	Cancelar	Ŧ	Aceptar Cancelar
Bomba/Estado	Acep	otar C	Cancelar	+	Aceptar Cancelar Secuencia Bombas Fijas Bomba Q corte Bomba Q corte
Bomba/Estado - CP-125_250-A-255	Acep 1 0	otar C	Cancelar	4	Aceptar Cancelar Secuencia Bombas Fijas Bomba Q corte CP-125_250.4.255 0.150 CP-150_310.4.320 0.286
Bomba/Estado - CP-125_250-A-255 - CP-125_250-A-255	Acep 1 0 0	otar C 2 1 0	Cancelar 3 1 1	4 1 1	Secuencia Bombas Fijas Secuencia Bombas Variables Bomba Q corte CP-125, 250-A-255 0,150 CP-150, 310-A-320 0,286
Bomba/Estado - CP-125_250-A-255 - CP-125_250-A-255 - CP-125_250-A-255	Acep 1 0 0	otar C 2 1 0 0	Cancelar 3 1 1 0	+ 1 1	Secuencia Bombas Fijas Secuencia Bombas Variables Bomba Q corte Bomba Q corte CP-125_250-A-255 0,150 CP-125_250-A-255 0,150 CP-125_250-A-255 0,150
Bomba/Estado - CP-125_250-A-255 - CP-125_250-A-255 - CP-125_250-A-255 - CP-150_310-A-320	1 0 0 1	2 1 0 0 1	Cancelar 3 1 1 0 1	+ 1 1 1 1	Secuencia Bombas Fijas Secuencia Bombas Variables Bomba Q corte CP-125_250A-255 0,150 CP-125_250A-255 0,150 CP-125_250A-255 0,150 CP-125_250A-255 0,150
Bomba/Estado - CP-125_250-A-255 - CP-125_250-A-255 - CP-125_250-A-255 - CP-150_310-A-320 Caudal de corte	1 0 0 1 0,4284	2 1 0 0 1 0,4321	Cancelar 3 1 1 0 1 0,5753	+ 1 1 1 1 0,7143	Acceptar Cancelar Bomba Q corte Bomba Q corte CP-125_250.4.255 0,150 CP-125_250.4.255 0,150 CP-125_250.4.255 0,150 CP-125_250.4.255 0,150 CP-125_250.4.255 0,150
Bomba/Estado - CP-125_250-A-255 - CP-125_250-A-255 - CP-125_250-A-255 - CP-10_310-A-320 Caudal de corte % rpm	1 0 0 1 0,4284 100,000	2 1 0 0 1 0,4321 100,000	Cancelar 3 1 1 0 1 0,5753 100,000	+ 1 1 1 1, 0,7143	Acceptar Cancelar Bomba Q corte Bomba Q corte CP-125_250.4.255 0.150 CP-125_250.4.255 0.150 CP-125_250.4.255 0.150 CP-125_250.4.255 0.150
Bomba/Estado = - CP-125_250-A-255 = - CP-125_250-A-255 - CP-125_250-A-255 - CP-125_250-A-255 / - CP-150_310-A-320 Caudal de corte % rpm Bomba variale	1 0 0 1 0,4284 100,000 50,310-4	2 1 0 0,4321 100,000 50,310-4	Cancelar 3 1 0 1 0,5753 100,000 50 310-4	+ + 1 1 0,7143 50 310-4	Aceptar Cancelar Bomba Q corte CP-125_250A-255 0.150 CP-125_250A-255 0.150 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255 CP-125_250A-255

FIGURA 10.16 Regulación Genérica. Datos de la Estación.

10.6.3 DATOS ENERGÉTICOS

Datos de la red	Regulación de la Estación	de la Estación Datos energéticos			
Instalación eléctrica	Calcular	Indicadores energéticos			
Cos fi: 0,89	97 🗖 Efici	Energía global Eficiciencia energética de bombeo (EEB) disponible			
Rend. instalación %: 1	00 Efici	🔽 Eficiencia de suministro energético (ESE)			
Precio Energía (€/k	wh): Potencia contratada: (€		Tarifas		
Precio Energía (€/) Tipos de discrimina horaria:	swh): Potencia contratada: (€	/kw mes)	Tarifas ▼		
Tipos de discrimina horaria:	wh): Potencia contratada: (€ ción <mark>Personalizada</mark> Valle Llano ecargo %: 0 0	/kw mes) Punta 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	Tarifas		

FIGURA 10.17. Datos Energéticos

Esta pestaña permite adecuar los parámetros eléctricos y energéticos de partida a cada uno de los casos concretos de bombeo que se pretenda estudiar energéticamente.

Instalación eléctrica.

- **Cos fi.** Desde esta casilla el usuario introducirá el valor del *factor de potencia* de la instalación. El valor por defecto asignado desde el programa GESTAR es de 0,8997
- **Rend. Instalación %.** Deberá fijarse en esta casilla el rendimiento de la instalación eléctrica en porcentaje. (Por defecto se aplica un valor del 100%).
- Calcular Indicadores energéticos. Mediante este cuadrante el usuario podrá evaluar la Eficiencia Energética a través de los llamados *Indicadores de Eficiencia Energética*, que permiten medir el uso que se realiza de la energía para producir una unidad de producto.
 - Eficiencia Energética de Bombeo (EEB). Si se activa esta opción, desde GESTAR se calculará el indicador *EEB*, siendo éste la relación entre la energía útil y la energía invertida en el dispositivo de bombeo (Rendimiento de la estación de bombeo en su conjunto). Esto es, representa el cociente entre la potencia hidráulica suministrada por los bombeos y la potencia eléctrica absorbida.
 - Eficiencia de Suministro Eléctrico. Si además el usuario desea que desde GESTAR se calcule el indicador *ESE* referente a la eficiencia en el suministro, deberá adjuntar en la casilla contigua el valor de la *Energía global disponible* que quedará accesible al seleccionar esta opción.

El indicador *ESE* representa el coeficiente entre la energía necesaria a aportar al sistema y la energía real aportada, del modo que:

$$ESE = \frac{\left|\Delta E\right|}{ICE}$$
 Si $\Delta E \langle 0 \rangle$

Siendo ΔE la diferencia entre la energía inicial del agua y la energía demandada por el sistema de riego abastecido e ICE el Índice de Carga Energética (m) que representa la altura manométrica media suministrada por los bombeos, incluyendo los puntos de suministro que no precisan bombeo.

Se adjunta a continuación formulación detallada de ambos parámetros:

$$EnergiaDisponible = \left[\left(\sum Superficie_{i} \right)^{*} H_{cabecera^{*}\rho g} \right) \right]^{*} \frac{VolumenTotal}{\sum Superficie_{i}}^{*} \frac{1}{3600^{*}1000}$$

Ecuación 10-1. Energía Disponible (según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía)

$$ESE(\%) = \frac{\left[\left(\sum(Supercifie_{i}*(Cota_{i} + PresionConsigna_{i})*\rho g)\right) - \left(\left(\sum Superficie_{i})*H_{cabecera*\rho g}\right)\right]*\frac{VolumenTotal}{\sum Superficie_{i}}*\frac{1}{3600*1000}}{EnergiaTotalUtil}$$

Ecuación 10-2 Eficiencia Suministro Eléctrico (según IDAE)

♦ Tarifas Energía.

Tarifas Eléctricas. Desde el primer desplegable del cuadrante *Tarifas energía*, el usuario seleccionará el tipo de contrato concertado con la compañía suministradora de electricidad para la instalación a analizar. Mediante el botón *tarifas* a la derecha del desplegable se accede a la ventana que permite la edición y carga de nuevas tarifas. A su vez, eligiendo desde la lista la tarifa *personalizada*, el usuario podrá especificar de forma directa los datos necesarios en las casillas correspondientes (*Precio Energía* (\notin kWh) y *Potencia Contratada* (\notin kWmes)).

10.6.4 RESULTADOS ENERGÉTICOS

Finalmente, para calcular la energía consumida por la estación, la potencia demandada y demás resultados energéticos, es necesario pulsar el botón de *Calcular*, situado en la parte inferior para cualquiera de las pestañas.

El cómputo de la energía consumida CED_{kWh} en la campaña de riego, de duración total T, se realiza mediante integración de la distribución de densidad de la potencia consumida en función del caudal.

$$CED_{kWh} = \cdot T \cdot \int_{0}^{Q \max} P(q) \cdot FDP(q) \cdot dq$$

Como se observa en la FIGURA 10.18, en la última pestaña se muestra un resumen de los resultados obtenidos, entre los cuales se encuentra el coste anual consumido por el bombeo, la energía anual consumida, etc. También se muestra un listado de los caudales de corte de la secuencia de arranque de la estación, un listado de los caudales y sus correspondientes potencias, y un último, correspondiente a los caudales y rendimientos.

Datos de la red	Argulación	n de la Estación 🏾 🗎	Datos ene	ergéticos	Resultad	los energético
Resultados						
Caudales de corte:	Q (m3/s) - P (Kw)	Q (m3/s) - Rend b	ombas kwh/año			PUNTA
			€/ano			
				Energí	a anual (kwh):	
			En	ergía por volun	nen (kwh/m3):	
				Término Ene	rgía. (€/año):	
			Término	Potencia contra	atada (€/año): [
				тоти	AL (€/año): [
	Gráficas Q-P/Q-R		TOT	TAL por Volume	n (€/m3 año): [
					EEB (%):	
					ESE (%):	

FIGURA 10.18 Resultados energéticos.

Esta ventana ofrece la posibilidad de ver las gráficas P-Q y R-Q de la estación de bombeo por medio del botón que lleva su nombre. De esta forma se obtienen dos gráficas como las de la FIGURA 10.19. Hay que decir que estas gráficas pueden presentar inestabilidades, este problema se puede solucionar disminuyendo el dato introducido en la primera pestaña con el nombre de *intervalos* de Q.



FIGURA 10.19 Gráficas P-Q y R-Q.

Además, GESTAR permite guardar todos los resultados en una hoja EXCEL y de esta manera, pueden ser manipulados y representar gráficamente tantas variables como se quiera. Así, por ejemplo se puede representar la potencia absorbida por la

bomba variable respecto el caudal total (FIGURA 10.20) o también representar el porcentaje de la velocidad angular al que se adapta en cada momento (FIGURA 10.21).



FIGURA 10.20 Potencia Absorbida de la bomba variable.



FIGURA 10.21. Porcentaje de la velocidad angular de la bomba.

11 MANEJO DE BASES DE DATOS

GESTAR ofrece la posibilidad de realizar el mantenimiento de todo el sistema de bases de datos desde el propio programa.

Para modificar estas bases de datos externamente, téngase en cuenta que han sido creadas mediante ACCESS97. Pueden ser editadas desde versiones posteriores de ACCESS, pero sin convertir la estructura original a la nueva versión de ACCESS.

Desde GESTAR se facilitan una serie de bases de datos que se copian automáticamente durante la instalación del programa. Dentro de la ruta de instalación, se encuentran en la carpeta llamada *SEG-BdD*.

Si en el menú *Archivo* de la barra de menús de GESTAR se selecciona la opción *Modificar Bases de Datos* se obtiene la pantalla mostrada en la FIGURA 11.1.

👗 Modificación de Bases de	Datos X
Colonaiana la basa	<u>I</u> uberías
de datos que desea modificar:	<u>G</u> oteros
	Accesorios
	⊻álvulas
<u>S</u> alir	<u>E</u> misores
	Bombas
	Tarifas Eļéctricas

FIGURA 11.1 Modificación de Bases de Datos.

Esta ventana posibilita la creación, el mantenimiento, ampliación o modificación de cada una de las bases de datos que contiene GESTAR. En función de cuál sea la base de datos a la que se pretenda tener acceso, se deberá pulsar uno u otro botón.

11.1 BASES DE DATOS DE TUBERÍAS

Al pulsar en la ventana de la FIGURA 11.1 el botón *Tuberías*, se obtiene una pantalla inicial como la de la FIGURA 11.2.



FIGURA 11.2 Base de Datos de Tuberías.

Desde el menú desplegable de la parte izquierda de la ventana, el usuario accede a las *Base de Datos de Tuberías* editables desde GESTAR. Mediante un doble "clic" sobre la base de datos elegida, se desplegarán los diferentes *Material* que contenga el archivo, pudiendo ocultarse del mismo modo. Al hacer doble ·"clic" sobre un *Material*, aparecen los diferentes *Timbrajes* de los que se almacena información para el *Material* seleccionado en esa base de datos. En función de la categoría activa, quedarán accesibles opciones diferentes dentro de la barra de herramientas, en la parte superior de la ventana (FIGURA 11.2).

- DNuevo... Al pulsar este botón, se abre una casilla con las siguientes opciones:
 - **Base de Datos.** Permite crear una base de datos con la información que el usuario almacene. Para que quede accesible deberá seleccionarse la primera categoría del menú desplegable (*Gestar*).
 - **Material.** Una vez seleccionada la base de datos que se desea modificar, se podrá incorporar a ella un nuevo *Material* a través de esta opción. Desde una ventana similar a la de la FIGURA 11.3, el usuario deberá especificar el *fabricante*, tipo de *Material* y su *coeficiente de Rugosidad* en mm.
| | | A |
|------------------|----|----------|
| Fabricante: | | Aceptar |
| Material: | | Cancelar |
| Seat Dimensional | mm | Aunda |

FIGURA 11.3 Generación de un nuevo Material.

• **Timbraje.** Permite añadir nuevos *Timbrajes* dentro del *Material* elegido. El usuario deberá rellenar en primer lugar la ventana de la FIGURA 11.4. En la casilla destinada a la denominación del *Timbraje*, se podrán emplear caracteres alfanuméricos, requiriéndose valores numéricos para la definición de la presión máxima que soporta la *Tubería* (en m.c.a), y su posible *holgura* (en mm).

RIEGOS / PVC / Nuevo Timbraj	e:	23
Timbraje:		Aceptar
Presión Max (m.c.a.):		Cancelar
Holgura:	mm	Ayuda

FIGURA 11.4 Generación de un nuevo Timbraje.

- **Agregar BD Existente.** Las bases de datos son editables desde GESTAR únicamente si se encuentran dentro de la ruta de instalación, en la carpeta *SEG-BdD*. Mediante este botón, el usuario podrá agregar a esta carpeta bases de datos existentes guardadas en otras ubicaciones. Para ello es necesario que en estos archivos, durante sus posibles modificaciones, no se altere su estructura original.
- Duplicar Base de Datos. Permite crear una base de datos a partir de una existente. Tras seleccionar la base de datos raíz, al pulsar este botón, el usuario deberá introducir el nombre del nuevo archivo. Cuando valide esta acción, la nueva base de datos quedará accesible desde el menú desplegable.
- Eliminar. Con esta herramienta, se podrán eliminar los datos relacionados a una *base de datos* completa, así como aquellos relacionados a un *Material* o bien a un determinado *Timbraje*.
- Editar. Este botón aparecerá utilizable cuando se haya seleccionado con el ratón un *Material* o *Timbraje* del menú desplegable. En el primer caso, posibilita la modificación de la denominación del *fabricante* y del *Material*, y el valor del

coeficiente de Rugosidad. En el segundo, el nombre del *Timbraje*, la *presión máxima* admisible y el valor de *holgura*.

- Editar Tabla de Tuberías. Mediante esta herramienta, se habilitará la tabla a la derecha de la ventana de la FIGURA 11.2, que permite el almacenamiento o modificación de diversos valores para un determinado *Timbraje*. Tres serán los campos requeridos de forma obligatoria para una nueva entrada: *Referencia*, *Diámetro interior* y *Precio*. De forma opcional, desde la tabla se podrán incluir los valores de *Espesor*, *Diámetro exterior*, *Longitud* de la *Tubería*, *Peso por metro lineal* y *celeridad*.
- Asociar a Red Activa. Sólo se podrá utilizar en el caso de que exista una red abierta previo a la entrada por el usuario en el menú *Modificar bases de datos*. Asociará la *Base de Datos de Tuberías* editada a la red actual.

IMPORTANTE: En el caso de que modifique una base de datos de *Tuberías* externamente, respete en todo momento la estructura del archivo. Dentro de este tipo de bases de datos, solamente las tablas *Material*, *Timbrajes* y *Tub_Comerc* contienen información referente a *Tuberías*. Tenga especial cuidado en:

- No introducir espacios en blanco dentro de cada celda de estas tablas.
- En el campo *Referencia* de la tabla *Tub_Comerc*, los primeros caracteres han de ser numéricos para indicar el *Diámetro Nonimal* de las *Tuberías*, separados del resto por un guión bajo, p.e 110_PVC ó 110_[PVC-10]. No pueden existir dos Referencias iguales en toda la tabla.
- Respete las siguientes limitaciones en el número máximo de caracteres de determinados campos. Tabla *Material*, campo *Fabricante*, 15 caracteres, campo *Descripción*: 15 caracteres; Tabla *Timbrajes*, campo *Descripción*: 8 caracteres.

La no observancia de estas consideraciones puede conducir a un incorrecto funcionamiento del programa, especialmente del módulo de dimensionado.

11.2 BASES DE DATOS DE TUBERÍAS PORTA GOTEROS

Tras seleccionar la opción *Goteros* en la ventana de la FIGURA 11.1, se abre el cuadro de diálogo de la FIGURA 11.5.

:OP	ERSA	•					
	1			Tabla: COPERSA			
	Material	Timbraje	DNominal	DInterior	Espesor	DExterior	Rugosida
•	Polivin, 5at		100	100	0	100	0
	Polivin, 5at		150	150	0	150	0 -
	Polivin, 5at		50	50	0	50	0
	Polivin, 5at		65	65	0	65	0
	Polivin, 5at		75	75	0	75	0
	Polivin, 2.3at		150	150	0	150	0
	Polivin, 3.5at		100	100	0	100	0
	Polivin, 3.75at		75	75	0	75	0
1	Polivin 3.75at		63	63	İn	63	in 🕨

FIGURA 11.5 Base de Datos de Tuberías Porta Goteros.

La información se almacena en tablas registradas con el nombre del fabricante. Se permite la recopilación de datos referentes al *Material, Timbraje, D Nominal, D Interior, Espesor, D Exterior, Rugosidad, Long Max, Peso y PVP* de la tubería, siendo imprescindible en cualquier caso la definición del *Material* y *D Nominal*. Desde la lista despegable superior, se podrá seleccionar la tabla de entre los fabricantes guardados.

• **Modificar Tabla.** Este botón sirve para modificar la tabla seleccionada. Al pulsarlo aparece la tabla de la diferencia entre esta tabla y la anterior es que la de la FIGURA 11.6 es totalmente editable, mientas que la anterior FIGURA 11.5 es una tabla protegida contra escritura, de modo que solamente puede ser leída.

Material	Timberia	DNIssiant	Distantian		DEstados	Durani
Material		Divominal	Dinterior	Espesor	DExterior	Rugosi
Polivin, 5at		100	100	0	100	U
Polivin, 5at		150	150	0	150	0
Polivin, 5at	2.	50	50	0	50	0
Polivin. 5at		65	65	0	65	0
Polivin. 5at		75	75	0	75	0
Polivin. 2.3at		150	150	0	150	0
Polivin, 3.5at		100	100	0	100	0
Polivin. 3.75at		75	75	0	75	0
Polivin. 3.75at		63	63	0	63	0
Polivin .5.5at		50	50	0	50	0
Polivin. 6at		38	38	0	38	0
						•

FIGURA 11.6 Modificación de Tablas de Tuberías Porta Goteros.

El botón *Borrar Tabla* permite, después de contestar a una verificación, borrar el contenido de la tabla seleccionada.

• Añadir Tabla. Permite al usuario añadir una nueva tabla con datos de un nuevo fabricante.

11.3 BASES DE DATOS DE ACCESORIOS

Cuando en la pantalla principal del *Sistema Gestor de Base de Datos* (FIGURA 11.1) se escoge la opción de *Accesorios*, se muestra en pantalla la FIGURA 11.7.

bla1 👱]					
			Accesorios			
Tipo	Parametro	Datos	Material	Fabricante	Peso	PVP
Codo radio pequeño	Ángulo	Tabla1				
Codo radio mediano	Ángulo	Tabla2				
Codo radio grande	Ángulo	Tabla3				
Codo anguloso	Ángulo	Tabla4				
Reducciones	Sup.1/Sup.0	Tabla5				
Válvula retención	<ninguno></ninguno>	TablaSP				
Entrada recta	<ninguno></ninguno>	TablaSP				
Entrada brusca	<ninguno></ninguno>	TablaSP				
Entrada recta Entrada brusca	<ninguno> <ninguno></ninguno></ninguno>	TablaSP TablaSP				

FIGURA 11.7 Base de Datos de Accesorios.

En esta ventana se tiene en pantalla un listado de los accesorios disponibles en la base de datos de GESTAR. En dicho listado se incluye el nombre de la tabla que guarda los datos hidráulicos de cada accesorio.

Si se desea añadir un nuevo *Elemento* a este listado, basta con pulsar el botón *Añadir/ Modificar Acc.* De este modo, la lista dejará de estar protegida contra escritura y se podrán introducir nuevos datos.

Por otro lado, en la esquina superior izquierda de la ventana de la *Base de Datos de Accesorios* (FIGURA 11.7) se ofrece la posibilidad de elegir el nombre de una tabla, que podrá ser modificada pulsando el botón *Ver/ Modificar Tabla*. Se obtendrá la ventana de la FIGURA 11.8.

			Tabla1	
Valor	k	N		
0	0	2		
20	0,053	2		
30	0,12	2		
45	0,27	2		
75	0,80	2		
90	1,1	2		
			10	

FIGURA 11.8 Modificación Tablas de Accesorios

Desde esta ventana el usuario podrá editar la tabla escogida mediante el botón *Modificar Tabla*, o bien crear una *Tabla Nueva*, con el botón correspondiente.

11.4 BASES DE DATOS DE VÁLVULAS

Cuando en la pantalla principal del *Sistema Gestor de Base de Datos* se escoge la opción *Válvulas*, se muestra el cuadro de diálogo de la FIGURA 11.9.



FIGURA 11.9 Base de Datos de Válvulas

Fabricantes. Al pulsar este botón, aparece la ventana de la FIGURA 11.10, desde donde el usuario podrá registrar o modificar la información de contacto con la empresa fabricante seleccionada en la lista habilitada, o bien añadir los datos de contacto de un nuevo fabricante.

Fabricantes: ACME1	Dirección	ACME
ACME2 ACME3 ACME4	Localidad	C.P.
	l Provincia	Teléfono
	Fax E	mail

FIGURA 11.10 Modificar Datos Fabricante

Operación/Protección. Seleccionando esta opción desde la ventana de la FIGURA 11.9, se accede a la base de datos referente a "válvulas en tubería", esto es, válvulas de seccionamiento, retención o estrangulamiento que pueden ser vinculadas como *Elemento* singular a una *Tubería* (ver , pág. 107). La ventana se compone de cuatro cuadrantes, desde los cuales se puede *Añadir, Editar* o *Eliminar Elementos* a través de los botones correspondientes.

	Fabricante:	ACME1		-	
ipos:			Subtipos Válvo	ula de Compue	rta
Válvula de Compuerta Válvula Compuerta Pe Válvula Retención de Válvula Retención de Válvula de Mariposa	queño	Editar liminar	Unión por ench Unión por brida: Con actuador Unión por cuello Unión por cuello	ufes s os lisos os de PE	Editar Eliminar
Válvula de Guillotina Válvula Asiento Globo Válvula Diafragma Tip	o Saun 🚽 📝	Añadir	union lazos		Añadir
eries Ilnión nor enc	chufes		Códigos de Vá	álvulas de la S	erie 01/80
ches onion por che					
01/80		Editar	Codigo	DN	Editar
01/80 33/85		Editar	Codigo 010508001	DN 4 40	Editar
01/80 33/85	F	Editar	Codigo ▶ 010508001 010638001	4 40 4 50 4 55	Editar
01/80 33/85	E	Editar liminar	Codigo ▶ 010508001 010638001 010758001 010758001 010908001	DN 4 40 4 50 4 65 4 80	Editar
01/80 33/85	E	Editar liminar	Codigo ▶ 010508001 010638001 010758001 010908001 011108001	DN 4 40 4 50 4 65 4 80 4 100	Editar

FIGURA 11.11 Modificar Base de Datos: VÁLVULAS DE OPERACIÓN / PROTECCIÓN

- Fabricante. En la parte superior de la ventana se habilita una casilla desplegable que permite modificar la selección del fabricante a editar.
- Tipos. Los diferentes tipos de válvulas de operación o protección cargados por defecto en la base de datos son los siguientes: compuerta, compuerta de pequeño diámetro, retención de clapeta, retención de bola, mariposa, guillotina, asiento globo, diafragma tipo Saunders. Al añadir o editar un tipo de válvula se podrá especificar si se trata de una antirretorno activando la casilla correspondiente. Al seleccionar el botón Editar Coeficientes Cd, se visualiza una ventana similar a la de la FIGURA 11.12.

ipo:	Válvula	Retención	de Clapeta	🔽 Anti	rretorno
	Edi	tar Coeficient	es Cd	Aceptar	Cancelar
11	1%Cierre	Гса		% Cierre	
>	0	0,88	2	0	0.99
	10	0,761	2	lo.	10,00
_	20	0,641	2		
_	30	0,527	2		
-	40	0,421	2		PPI
_	50	0,16	2		
-	60	0,251	2		
	70	0,16	2	,	da
	80	0,117	2		kyuua
-	90	0,089	2		
_	100	0	2		

FIGURA 11.12 Modificar Tipo de Válvula

Se abre entonces la tabla de asignación de los valores de Cd y N, para la obtención de la curva característica del tipo de válvula a modificar o añadir. Los cursores permiten el desplazamiento por las diferentes filas de definición de los coeficientes, para los distintos porcentajes de cierre.

- Subtipos. Con el fin de facilitar su localización, las válvulas se agrupan en subtipos en función de sus características constructivas.
- Series. Cada grupo de válvulas de diferentes diámetros con idénticas características se identifica por el fabricante con un número de serie. Al editar o añadir una *Serie*, se accede a la siguiente ventana:

	01/80	Aceptar	Cancelar
Description.	Válvula de compuerta Unión por enchufes "E similar	de asiento elástico, PN 16 EURO'' para tubería de PVC - AVI	K serie 01/80 o 📋
	* Introducción Válvulas de compuerta indicio y exteriormente indicada de forma inde Las válvulas deben se garantía de calidad, c deben tener una garar de 15 años.	a de asiento elástico, paso total y l e de polvo de epoxi, con su fecha eleble en el husillo. er fabricadas en una fábrica con si ertificada según norma ISO 9001 / ntía contra defectos de fabricación	iso, revestida de fabricación stema de EN 29001, y n por un período
			-
	* Materiales		
-Hoja Téc	* Materiales nica		
– Hoja Téc Exar	* Materiales nica ninar Archivopdf:[

FIGURA 11.13 Modificar Serie Válvula.

Además del número de serie y la descripción de la válvula, el usuario puede asociar a la serie un archivo .pdf con la hoja de características.

 Códigos. En el último cuadrante, se visualiza, una vez se ha seleccionado la serie, una tabla con los códigos registrados en ella, junto con los diámetros nominales a los que se asocia cada código.

Códiao:	0107580014	
	1	
DN (mm)	65	Cancelar
PN	16	– Válvula de Compuerta

FIGURA 11.14 Modificar Código Válvula

Al pulsar el botón *Añadir* o *Editar*, se abre una ventana similar a la de la FIGURA 11.14, desde donde se permite la edición del *código* escogido, del *Diámetro Nonimal* (en mm), de la *presión nominal* (en atm), así como del *precio*.

Control Automático. Desde esta opción disponible en la ventana de la FIGURA 11.9, se accede a la base de datos de válvulas de regulación monofuncionales (ver
 pág. 121).

Fabricantes:	ACME1		•		
Tipos:	Reductora	de Presió	n 🔹 🕨	€	
eries: Reductora de Presión—		Cód	igos de Válvula	s de la Sei	ie: 771 —
771	Editor		CodigoH	DN	Editor
771			771005001001	20	
771			771000001001	100	-
	Eliminar		771015001001	150	Eliminar
			771020001001	200	
	Añadir		771025001001	250	Añadir
			771030001001	300	

FIGURA 11.15 Modificar Base de Datos: VÁLVULAS DE CONTROL AUTOMÁTICO

La estructura del cuadro de diálogo es similar a la de la ventana de edición de la base de datos de válvulas de operación y protección (ver pág. 328). En este caso, se implementan exclusivamente dos cuadrantes (para *Series* y *Códigos*), y aparece una

nueva casilla despegable en la parte superior, para seleccionar el *Tipo* de válvula (*Reductora de presión, Sostenedora de Presión, Limitadora de Caudal*).

Código:	771005007001	Aceptar
DN (mm)	50	Cancelar
PN	16	- Limitadora de Cauda
Precio €	1582	. //1
Coeficientes	válvula abierta:	
Ks: (s2/m5)	68172,47]
с ^{Ку:} (m3/s)		Calcular Ks

FIGURA 11.16 Modificar Código Válvula Control Automático.

Seleccionado el código, además de las opciones descritas en el apartado anterior, se permite la edición de los coeficientes de la válvula abierta (valor de Ks o Kv en su defecto), tal y como se observa en la FIGURA 11.16.

11.5 BASES DE DATOS DE EMISORES

Cuando se pulsa el botón *Emisores* de la ventana de la FIGURA 11.1, se despliega la ventana de la FIGURA 11.17.

orica	antes Existentes	Tablas de <u>D</u> atos				
qua	Traxx	▼ Tabla1	•			
				Fabricante: AquaTraxx		
	Tipo	Tabla				
•	EAXxx04134	Tabla301				
	EAXxx0867	Tabla302				
	EAXxx1245	Tabla303	-			
	EAXxx1634	Tabla304	-			
	EAXxx2422	Tabla305	-			
	EAXxx0851	Tabla306	-			
_	EAXxx1234	Tabla307				
-	EAXxx1626	Tabla308				
	1=	T 11 1 1		Madicas Table	Nucces Table 1	

FIGURA 11.17 Base de Datos de Emisores.

En esta ventana se tienen dos claves de acceso. Una es la referente al fabricante del emisor y la otra es la referente a la tabla que recoge los datos de un emisor determinado.

El fabricante se selecciona en la lista de la parte superior izquierda de la pantalla y la tabla de datos en el recuadro contiguo. Ambos conceptos están ligados internamente pero son independientes a la hora ser modificados o visualizados. A la vista de la FIGURA 11.17, es posible *modificar* un fabricante o tabla de datos ya existente, o bien añadir un *nuevo fabricante* o una *nueva tabla de datos existente*.

Los valores disponibles para su registro en la *Tabla de Datos* son los siguientes: *P (Atm), Q (l/seg), Alcance (m), Pluv-C (mm/h), Pluv-T (mm/h), Posicion-C (m) Posición-T (mm).* En el caso de que el emisor sea un **gotero** quedará definido especificando exclusivamente los valores de presión y caudal.

11.6 BASES DE DATOS DE BOMBAS

Cuando se selecciona en la ventana inicial de modificación de bases de datos la opción *Bombas* (FIGURA 11.1), se accede al siguiente cuadro de diálogo:

CODIGO	MODELO	RODELE	POSICION	SERIE
56	CP-500_510-B	435	HORIZONTAL	CP
57	CP-500_510-B	405	HORIZONTAL	CP
58	CP-400_390-A	420	HORIZONTAL	CP
59	CP-400_390-A	405	HORIZONTAL	CP
60	CP-400_390-A	390	HORIZONTAL	CP
61	CP-400_390-A	370	HORIZONTAL	CP
62	CP-400_390-A	350	HORIZONTAL	CP
63	CP-150_430-A	430	HORIZONTAL	CP
64	CP-150_430-A	410	HORIZONTAL	CP
65	CP-150_430-A	390	HORIZONTAL	CP
66	CP-150_430-A	370	HORIZONTAL	CP
67	CP-150_430-A	350	HORIZONTAL	CP
68	5LR-15D	168	HORIZONTAL	CP
1 5 5 7 7	CP-150_430-A CP-150_430-A CP-150_430-A CP-150_430-A 5LB-15D	410 390 370 350 168	HORIZONTAL HORIZONTAL HORIZONTAL HORIZONTAL HORIZONTAL	CP CP CP CP CP

FIGURA 11.18 Base de Datos de Bombas.

Mediante la pestaña superior izquierda, se escoge la base de datos que se desea modificar de entre las guardadas dentro de la ruta de instalación, en la carpeta *SEG-BdD*, subcarpeta *Bombas*. Las *Bombas* registradas en la base de datos aparecen en la tabla central de la ventana, ordenadas según su código. El usuario se desplazará en ella mediante la barra de "scroll" a la derecha de la lista. Cuando se seleccione la bomba a editar, se especificará el modelo y número de rodete de la bomba en las casillas habilitadas. Las posibilidades de edición son las siguientes:

- Ver. Al pulsar este botón, se abrirá una ventana bastante similar a la de la FIGURA 11.19, pero que permite de forma exclusiva la **consulta** de una serie de *Datos generales* de la bomba, (*posición, serie, precio, r.p.m, r.p.m. Max*) y los *Datos de las curvas características* para cada tipo de rodete almacenado.
- Modificar. Si en cambio se pulsa el botón modificar, se posibilita la edición del conjunto de datos. Mediante el botón Añadir rodete se podrá almacenar la curva característica de un nuevo rodete definiendo al menos dos pares de datos de caudal (m³/h) / altura (m). Se deberá incluir la potencia necesaria en kW así como el valor del NPSH para cada punto de servicio.

Datos ge	nerales						
Modelo	CP-150_310-A	Serie	CP	▼ F	R.P.M. 29	980	Aceptar
Posición	HORIZONTAL	▼ Precio	0	F	3.Р.М. Мáх. <mark>3</mark> (000	Cancelar
Datos de	las curvas caracte	erísticas					
		Añadir rodete	Curva Caracter	ística. Rodete	e 320		- X OF
Rodete 1	β20	Datos ROD. 1 >>	Q (m3/h)	H (m)	P (kW)	NPSH	SUMERGEN
Rodete 1	β20	Datos ROD, 1 >>	Q (m3/h)	H (m) 138,12	P (kW) 63,78493	NPSH 0	SUMERGEN 0
Rodete 1 Rodete 2	320 300	Datos ROD. 1 >> Datos ROD. 2 >>	Q (m3/h) 0 95,5693	H (m) 138,12 138,0022	P (KW) 63,78493 90,04318	NPSH 0 99,41179	SUMERGEN 0 0
Rodete 1 Rodete 2	β20 300	Datos ROD. 1 >> Datos ROD. 2 >>	Q (m3/h) ▶ 0 95,5693 194,957	H (m) 138,12 138,0022 136,748	P (kW) 63,78493 90,04318 119,2441	NPSH 0 99,41179 199,9933	SUMERGEN 0 0 0
Rodete 1 Rodete 2 Rodete 3	320 300 280	Datos ROD. 1 >> Datos ROD. 2 >> Datos ROD. 3 >>	Q (m3/h) 0 95,5693 194,957 296,0391	H (m) 138,12 138,0022 136,748 133,768	P (KW) 63,78493 90,04318 119,2441 146,202	NPSH 0 99,41179 199,9933 299,7789	SUMERGEN 0 0 0 0 0
Rodete 1 Rodete 2 Rodete 3	320 300 280	Datos ROD. 1 >> Datos ROD. 2 >> Datos ROD. 3 >>	Q (m3/h) 0 95,5693 194,957 296,0391 395,0082 1 402,0305	H (m) 138,12 138,0022 136,748 133,768 128,3819	P (kW) 63,78493 90,04318 119,2441 146,202 170,965	NPSH 0 99,41179 199,9933 299,7789 399,125 492,2912	SUMERGEN 0 0 0 0 0 0
Rodete 1 Rodete 2 Rodete 3 Rodete 4	300 280 255	Datos ROD. 1 >> Datos ROD. 2 >> Datos ROD. 3 >> Datos ROD. 4 >>	Q (m3/h) ▶ 0 95,5693 194,957 296,0391 395,0082 493,9336 505 5771	H (m) 138,12 138,0022 136,748 133,768 128,3819 119,9824 107,0997	P (KW) 63,78493 90,04318 119,2441 146,202 170,965 194,2402 220,656	NPSH 0 99,41179 199,9933 299,7789 399,125 496,2813 597,2647	SUMERGEN 0 0 0 0 0 0 0 0
Rodete 1 Rodete 2 Rodete 3 Rodete 4 Rodete 5	300 280 255	Datos ROD. 1 >> Datos ROD. 2 >> Datos ROD. 3 >> Datos ROD. 4 >> Datos ROD. 5 >>	Q. (m3/h) ▶ 0 95,5693 194,957 296,0391 395,0082 493,9336 595,5771	H (m) 138,12 138,0022 136,748 133,768 128,3819 119,9824 107,0997	P (KW) 63,78493 90,04318 119,2441 146,202 170,965 194,2402 220,5846	NPSH 0 99,41179 199,9933 299,7789 399,125 496,2813 597,8547	SUMERGEN 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Rodete 1 Rodete 2 Rodete 3 Rodete 4 Rodete 5 Rodete 6	300 280 255	Datos ROD. 1 >> Datos ROD. 2 >> Datos ROD. 3 >> Datos ROD. 4 >> Datos ROD. 5 >> Datos ROD. 5 >> Datos ROD. 6 >>	Q (m3/h) ▶ 0 95,5693 194,957 296,0391 395,0082 493,9336 595,5771	H (m) 138,12 138,0022 136,748 133,768 128,3819 119,9824 107,0997	P (KW) 63,78493 90,04318 119,2441 146,202 170,965 194,2402 220,5846	NPSH 0 99,41179 199,9933 299,7789 399,125 496,2813 597,8547	SUMERGEN 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Rodete 1 Rodete 2 Rodete 3 Rodete 4 Rodete 5 Rodete 6	300 280 255	Datos ROD. 1 >> Datos ROD. 2 >> Datos ROD. 3 >> Datos ROD. 4 >> Datos ROD. 5 >> Datos ROD. 6 >>	Q (m3/h) ▶ 0 95,5693 194,957 296,0391 395,0082 493,9336 595,5771	H (m) 138,12 138,0022 136,748 133,768 128,3819 119,9824 107,0997	P (KW) 63,78493 90,04318 119,2441 146,202 170,965 194,2402 220,5846	NPSH 0 99,41179 199,9933 299,7789 399,125 496,2813 597,8547	SUMERGEN 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

FIGURA 11.19 Modificar Bomba.

• Eliminar. Permite borrar de la base de datos la bomba seleccionada y todos los datos asociados a ella.

Desde la ventana de la FIGURA 11.18, se habilitan otras dos pociones:

- **Buscar.** Permite un procedimiento de búsqueda a partir de la especificación del modelo de la bomba. Quedará seleccionada en la lista, en el caso de que se encuentre en la base de datos, la primera bomba cuyo modelo coincida con el indicado.
- Añadir bomba. Al pulsar esta opción, el usuario se encontrará con una ventana con las mismas casillas que la de la FIGURA 11.19, pero en este caso vacías, para que el

usuario pueda definir en ellas las características de la nueva bomba que desea añadir.

11.7 BASES DE DATOS DE TARIFAS ELÉCTRICAS

Edición Tarifas Eléctricas:

Se dispone de una ventana de acceso donde se visualizan y gestionan los datos de la base de datos de *Tarifas Eléctricas*, donde se almacenan los precios de la energía y la potencia, así como diferentes discriminaciones de precios de ambos términos de la facturación. Estos datos pueden ser seleccionados en el paso 7, que estamos tratando en este apartado. El botón "Tarifas" (FIGURA 8.16) da acceso a esta herramienta de gestión de Tarifas Eléctricas (FIGURA 11.20).

🛙 Tarifas Eléctricas	
Codigo Tarifa R.1 ALTA TENSIÓN. Riegos Agrícolas (<36 K	Código Tarifa 2009 2009 Precio Base Potencia Kw : Precio Base del kWh: 4,6529 (€/kW mes y periode)
Añadir Modificar Eliminar	Aceptar Cancelar
Tipo Discriminación Horaria (Energía): Codigo Tipo ▶ DH2 Dbla Triple Tarifa DH3 Triple Tarifa (sin festivos) DH4 Triple Tarifa (con festivos)	Código Tipo DH2 Doble Tarifa Recargo P1 P2 P3 P4 P5 P6 precio Kwh % 40 0 0 0 0 0 0 Aceptar Cancelar
Tipo Discriminación Horaria (Potencia): <u>Codigo Tipo</u> ▶ 001 Prueba	Código Tipo 001 Prueba
Añadir Modificar Eliminar	P1 P2 P3 P4 P5 P6 precio Kw% 50 20 0 0 0 10 Aceptar Cancelar

FIGURA 11.20 Bases de Datos de Tarifas Eléctricas.

Precios Base

Se dispone de una tabla de acceso donde se visualizan los *códigos* y *títulos* de las tarifas guardadas. Desde esta tabla, el usuario podrá *Añadir*, *Modificar* o *Eliminar* tarifas con los botones correspondientes. Los parámetros que deberán rellenarse en cada tarifa son los siguientes:

 Código. Se asignará un código a cada tarifa, no permitiéndose códigos repetidos por parte del programa.

- *Tarifa*. Casilla en la que el usuario determina el título que desee para su posterior identificación.
- **Precio Base Potencia** ($\ell/kWmes y$ periodo). Precio base del kW contratado, en el periodo de referencia de la tarifa empleada.
- Precio Base del kwh (€/kWh). Deberá especificarse el precio base del kWh la energía consumida, en el periodo de referencia la tarifa empleada.

Tipo Discriminación Horaria (Energía y Potencia). En la segunda tabla de la ventana de la FIGURA 11.20 se visualizan los *códigos* y *tipos* de las discriminaciones horarias guardadas. Gracias a los botones *Añadir*, *Modificar* o *Eliminar* el usuario podrá actualizar las configuraciones almacenadas. Los parámetros de definición son los que siguen:

- *Código*. Se asignará un código a cada tipo de discriminación horaria, no permitiéndose códigos repetidos.
- *Tipo*. Desde esta casilla el usuario adopta un comentario para cada tarifa que le servirá para su posterior identificación.
- Valores de los recargos en cada periodo (coeficientes *lkW_i lkWh_i*), en tanto por ciento para cada uno de los periodos. Si la tarifa contiene menso de 6 periodos se introducirán 3 de ellos y se indicara 0% en los restantes.

ANEXO I. CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS Y OPERATIVAS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN PARA RIEGO A PRESIÓN.

AI.1 DEFINICIONES.

GRAFO.

Se define como *grafo* de una red de distribución a la representación gráfica unifilar de la misma constituida por puntos significativos, que denominamos *Nodos*, y *Elementos* que conectan dichos *Nodos*.

TOPOLOGÍA RAMIFICADA.

Una red se dice que tiene una *topología ramificada* si en su grafo asociado la conexión entre dos *Nodos* cualesquiera sólo puede realizarse mediante un único trayecto (caso a). En caso contrario la topología se definirá como mallada (caso b).



FIGURA AI. 1 Grafo ramificado (a) y grafo mallado (b).

TOPOLOGÍA CONSTRUCTIVA.

Se entenderá que la topología constructiva de una red es la combinación de:

-Su grafo.

-La descripción de cotas de todos los Nodos.

-La descripción de los diámetros, *Rugosidad*es, longitudes y *Material* de todas las conducciones.

-La especificación de dispositivos y piezas especiales instaladas (bombas, válvulas, reducciones, filtros, codos, etc.).

CONDICIONES DE CONTORNO.

Se entiende por *condiciones de contorno* de una red en un instante dado a la combinación existente en ese momento:

-de consumos en los Nodos donde se conoce la demanda de fluido.

-de niveles energéticos en los puntos donde la presión, cota y energía cinética son conocidas.

CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL.

Se define como *configuración de los dispositivos de control* de una red en un instante dado al conjunto concreto de estados de activación, regulación y consigna de los diferentes *Elementos* internos (grupos de bombeo, válvulas, reguladores, etc.) de la red en ese momento.

ESCENARIO.

Se define escenario de un sistema de distribución a la combinación de:

-la topología constructiva de la red.

-unas condiciones de contorno determinadas.

-una configuración de los dispositivos de control concretas.

ESCENARIO ESTRICTAMENTE RAMIFICADO.

Un escenario de una red de distribución de fluidos se denomina *estrictamente ramificado* (FIGURA AI. 2) si:

-posee una topología ramificada.

-Las condiciones de contorno son tales que:

- Existe exclusivamente un único punto de altura energética impuesta, que habitualmente corresponderá al punto de alimentación,
- El resto de *Nodos* de la red se asimilan a puntos de consumo conocido, esto es, *Nodos* de bifurcación, con consumo nulo, o puntos de suministro con demanda independiente de la presión.



FIGURA AI. 2 Escenario estrictamente ramificado.

RED ESTRICTAMENTE RAMIFICADA.

Se dice que una red es *estrictamente ramificada* si todos sus escenarios son estrictamente ramificados.

AI.2 EL PARADIGMA DE LAS REDES ESTRICTAMENTE RAMIFICADAS.

AI.2.1 DIMENSIONADO DE REDES ESTRICTAMENTE RAMIFICADAS.

Exclusivamente en las redes en que la topología y las condiciones de contorno se implementan configurando una red *estrictamente ramificada*, es posible determinar "a priori" los *Caudales de Diseño*, desacoplados de las ecuaciones hidráulicas y de las características de la propia tubería, lo que posibilita, entre otras cosas, establecer metodologías directas para el dimensionado de los diámetros de los conductos, metodologías que pueden clasificarse en dos tipos: *dimensionado funcional*, esto es, determinación de una combinación de diámetros y *Material* tales que satisfagan ciertas restricciones en cuanto a los valores de presión en *Nodos* y velocidad en líneas, y *dimensionado óptimo económico*, que persigue el mismo propósito, buscando además la combinación de los diámetros y *Material* de la red que minimice los costes teóricos de las tuberías. Asimismo, cada una de las anteriores metodologías admite diversas

aproximaciones que, a su vez, comportan ventajas y limitaciones de tipo conceptual o práctico.

AI.2.2 CÁLCULO DE PRESIONES EN CADA ESCENARIO.

Por otro lado, sólo en los escenarios estrictamente ramificados es posible calcular de forma explícita las presiones en todos los puntos del sistema para cualquier combinación de demandas, una vez que los diámetros interiores y *Material* de las tuberías han sido determinados, sin más que descontar -o añadir- a la única altura piezométrica conocida las correspondientes pérdidas de carga, calculadas inmediatamente, puesto que los flujos de todas las conducciones son dados como la suma de los caudales demandados aguas abajo en el escenario de demanda concreto.

No obstante, el alcance de esta metodología de análisis hidráulico, únicamente aplicable a las redes estrictamente ramificadas, es muy limitado, siendo cada vez más necesario disponer de métodos generales y flexibles que permitan dar solución a las configuraciones que se dan en la práctica. En la FIGURA AI. 3 se muestra el esquema de una red típica de riego a la demanda, que ilustra algunos de los aspectos habituales.

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



FIGURA AI. 3 Esquema de red colectiva de riego

En cuanto una red presenta alguna malla o más de un punto de altura piezométrica conocida, aparecen trayectos alternativos al suministro o caudales emitidos en función de la presión local, por lo que la distribución de caudales por toda, o parte de la red, ya no puede conocerse si no es planteando la resolución del sistema de ecuaciones completo que reproduce el comportamiento hidráulico del sistema de distribución. Este sistema contiene numerosas ecuaciones no lineales cuya solución requiere inevitablemente el concurso de las técnicas empleadas en el cálculo hidráulico de redes generales, aún cuando la red mantenga una apariencia ramificada.

En función de las simplificaciones que reporta el modelo de una red estrictamente ramificada no es de extrañar que, en los sistemas dedicados al riego, donde la topología que se encuentra con más frecuencia es ramificada, habitualmente se asimilen las redes de distribución a presión al paradigma estrictamente ramificado, existiendo un punto de alimentación principal y unas demandas de caudal generalmente reguladas por los hidrantes en su operación normal.

Este hecho, unido a la carencia hasta el momento de herramientas de simulación suficientemente robustas, a la par que sencillas de utilizar, ha obviado el uso sistemático de programas de simulación hidráulica en el dominio de los regadíos, usadas sin embargo extensivamente en otros contextos (abastecimientos, climatización y calefacción, hidráulica de potencia y regulación, redes anti-incendios...). En contrapartida, el proyecto de redes de riego recurre a técnicas de dimensionado óptimo (especialmente fructíferos en redes ramificadas, en virtud del ya señalado conocimiento "a priori" de los Caudales de Diseño) hasta el punto de considerarse habitualmente completado el diseño una vez que se han establecido los diámetros económicos de las tuberías.

No obstante, puede afirmarse, en función de la casuística encontrada como resultado de múltiples experiencias en el análisis de los regadíos presurizados, que si bien a efectos de dimensionado de tuberías el paradigma de red estrictamente ramificada puede considerarse esencialmente correcto, en lo que respeta a la simulación y reproducción del comportamiento real instantáneo y local de tales redes, el funcionamiento del sistema de acuerdo al modelo de red estrictamente ramificada supone la excepción más que la regla. Esto obliga, si se desea mejorar la eficiencia del diseño y de la explotación de las redes, a la introducción de técnicas de predicción y análisis hidráulico de carácter general, que resultan asimismo idóneas, y aún más precisas y fructíferas, si cabe, en las redes de riego.

Afortunadamente la divulgación y abaratamiento de la potencia de cálculo informático durante la pasada década y el desarrollo de novedosas técnicas numéricas, más potentes robustas y eficientes, ha permitido ir cubriendo el "gap" existente entre las aplicaciones informáticas para el cálculo hidráulico y las disponibles en otros ámbitos de la ingeniería, permitiendo acercar y hacer comprender a un número creciente de diferentes círculos profesionales las ventajas que la simulación de sistemas ofrece frente a las técnicas convencionales de diseño por tanteo. El uso de este tipo de herramientas se va extendiendo además dentro de los organismos encargados de la gestión de sistemas hidráulicos, ya que ofrece la posibilidad de evaluar y anticipar, de una forma no muy costosa, la respuesta de los mismos frente a una gran variedad de situaciones prácticas, bien sea con propósitos de planificación, prevención o regulación.

En consecuencia, resulta imprescindible en el proyecto y explotación de regadíos modernos disponer de técnicas de cálculo absolutamente generales, capaces de acomodar de forma realista cualquier topología constructiva, combinación de condiciones de contorno y configuración de dispositivos de control..., es decir: cualquier escenario.

En los siguientes apartados se procederá a revisar las características hidráulicas más significativas de las redes destinadas al riego a presión, tomando como *Elemento* comparativo los sistemas de abastecimiento. Nuevamente aparecerá justificada la necesidad y la fiabilidad de las herramientas de análisis hidráulico en el contexto de las redes de riego para su mejor diseño y gestión.

AI.3 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LAS REDES DE RIEGO A PRESIÓN.

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

- Topología predominantemente, aunque no en exclusiva, ramificada.
- Baja densidad de la red y alta intensidad de la demanda.
- Estructura de la demanda discontinua y controlada.

Presencia de condiciones de contorno combinadas en que coexisten varios puntos de altura piezométrica impuesta y demandas dependientes e independientes de la presión.

Estas características servirán de hilo conductor para proceder a la revisión sistemática de los aspectos hidráulicos de dichas redes.

AI.3.1 TOPOLOGÍA.

En los abastecimientos de agua potable las grandes arterias se encuentran habitualmente interconectadas formando una estructura mallada que asegura que el agua pueda alcanzar cada manzana de viviendas siguiendo más de un trayecto desde los puntos de inyección a la red aún cuando ello supone un mayor coste del trazado de tuberías respecto al estrictamente mínimo necesario. Tal redundancia, amén de homogeneizar las presiones, intenta garantizar el suministro mediante circuitos alternativos cuando se produzca una interrupción en la circulación de alguna de las tuberías involucradas en el abastecimiento de un sector.

En las redes de riego a la demanda, las extensas superficies a cubrir, la dispersión de los puntos de consumo, los elevados costes de las tuberías de gran diámetro necesarias para acomodar los grandes volúmenes de agua servidos y la mayor tolerancia de los cultivos a las carencias de agua puntuales, hacen adoptar una morfología ramificada donde cada punto de suministro es alimentado a través de una única serie de tuberías, dado que se demuestra que, en general, es más económica que cualquier otra mallada que realice un servicio equivalente.

No obstante hay que tener muy presente que disposiciones malladas en redes de riego pueden ser recomendables en ciertos contextos, algunos de los cuales a continuación se enumeran:

Situaciones especiales.

Garantía de suministro.

Escalonamiento de inversiones.

Corrección de insuficiencia de presiones.

Aplicaciones en jardinería.

SITUACIONES ESPECIALES.

En situaciones particulares debidas a restricciones en el trazado (accidentes orográficos, terrenos rocosos o móviles, zonas excluidas...) o a la disponibilidad de diámetros, una interconexión redundante en algún punto, puede resultar más económica que la solución puramente ramificada.

GARANTÍA DE SUMINISTRO.

En otras ocasiones, los aspectos de garantía de suministro pueden ser relevantes, por ejemplo en los tramos en cabecera de la red, los de mayor diámetro y coste, cuyas reparaciones o mantenimientos inutilizan todo el sector, puede no ser aconsejable la instalación de una sola tubería de gran diámetro dada su vulnerabilidad, siendo quizá más prudente instalar dos o más tuberías paralelas de menor diámetro que formarán en su conexión algún tipo de malla. En otras ocasiones, la proximidad de sectores hidráulicamente independientes puede hacer aconsejable una interconexión mallada para disminuir la vulnerabilidad de cada uno de ellos a los cortes en el suministro, especialmente en cultivos de alto valor añadido o con riego exigente.

ESCALONAMIENTO DE INVERSIONES.

El supuesto mayor coste de una disposición de tuberías paralelas en cabecera, frente a la única tubería de mayor diámetro, puede verse compensado por el ahorro en la financiación del inmovilizado que supone el instalar las conducciones paralelas escalonadamente, conforme el sector se va transformando y se demandan mayores caudales. La alternativa de instalación de una única tubería de gran diámetro, cuya capacidad portante puede estar infrautilizada durante muchos años, pudiera no ser la más ventajosa.

CORRECCIÓN DE INSUFICIENCIA DE PRESIONES.

Situaciones que pueden aconsejar el mallado local de la red se presentan cuando es preciso corregir problemas de insuficiencia de presión en ramales ya construidos, especialmente si estos se encuentran en servicio. Las circunstancias bajo las que un determinado hidrante presenta déficit de presión son más habituales de lo que cabría suponer (envejecimiento de instalaciones, cambio de cultivo o dotaciones, error de diseño...). En tales ocasiones, si un ramal próximo dispone de altura piezométrica suficiente, la interconexión de los ramales, formando así una malla, puede hacer aumentar la presión en la zona deficitaria de forma significativa, sin que la rama donante de caudales sufra un descenso excesivo de su respectiva presión. El diámetro y coste de la conducción necesaria para remediar esta situación puede ser sensiblemente inferior al coste de sustituir las tuberías ya instaladas en el ramal deficitario por una nueva o de mayor diámetro.

APLICACIONES EN JARDINERÍA.

Finalmente, en aplicaciones de jardinería se encuentran habitualmente tuberías de distribución formando anillos a lo largo de la periferia del terreno, de las cuales se derivan las conexiones de los dispositivos de riego. Esto es así por que el mallado del sistema tiende a igualar sistemáticamente las alturas piezométricas en todos los puntos, y por ende, las presiones, con total flexibilidad para los posteriores cambios y reacomodos de los puntos de inserción de las tuberías terciarias, muy frecuentes en tales aplicaciones. Dado que en jardinería se trabaja con pequeños diámetros y extensiones limitadas, el diferencial de coste respecto a la solución ramificada no es significativo,

más aún si se compara con otras inversiones asociadas a las zonas residenciales en que se instalan.

Por otro lado, asignando un diámetro común a toda la malla, el proyectista se ahorra complicaciones de montaje y de diseño, al no tener que recurrir al tedioso cálculo de tuberías de diámetros decrecientes, preciso en redes ramificadas, para garantizar la homogeneidad de presiones, solución que, además de ser rígida y no admitir fácilmente cambios posteriores, requiere una colección de diámetros y piezas especiales cuyo acopio, almacenamiento y montaje supone, a la postre, costes superiores al ahorro conseguido en conducciones respecto al mallado con un diámetro intermedio constante.

AI.3.2 DENSIDAD DE LA RED E INTENSIDAD DE LOS CONSUMOS.

DENSIDAD DE LOS TRAZADOS.

En los sistemas de riego a la demanda encontramos redes de distribución sumamente dispersas en su trazado, con una baja concentración de tomas, en comparación con los sistemas de abastecimiento. Los sectores de riego dominados por una única balsa de captación o regulación pueden extenderse desde 200 ha. hasta varios miles de ha. Mientras que en un sistema de riego encontramos una toma o hidrante por cada 1-10 ha, y los hidrantes se encuentra separados distancias medias entre 300 m. y 600 m., en un abastecimiento apenas recorremos los pocos metros que separan un edificio del siguiente para encontrar una nueva toma independiente. En una ciudad de tamaño medio (500.000 hab.) se tienden, aproximadamente, tantos metros de tubería como habitantes existen, formando una tupida maraña profusamente interconectada.

DENSIDAD DE LOS USUARIOS.

El número de usuarios que toman decisiones en un sistema de riego abarca desde pocas docenas a varios cientos de regantes, en los casos más extremos, siendo muy frecuentes los sectores en que hallamos entre 200 y 400 bocas de riego. En cualquier caso, se tiene una diferencia de tres órdenes de magnitud en el número de usuarios independientes en un tipo y otro de sistemas.

Dada la relativa simplicidad topológica de la red y dado el reducido número de tomas, en los regadíos presurizados es completamente factible proceder a la reproducción de la red de conducciones completa, incluyendo *Elementos* singulares y tomas individuales, no siendo preciso esquematizar la topología de la red para proceder a su análisis.

INTENSIDAD DE LA DEMANDA.

A pesar de la dispersión de los usuarios en el terreno y el comparativamente bajo número de ellos que encontramos en un sector hidráulico de riego, sus demandas de caudales son significativamente superiores a los consumos individuales urbanos. Si el consumo que realiza un ciudadano cuando abre un grifo durante un corto periodo de tiempo puede estimarse entorno a 0.1 l/s, un hidrante de riego abierto fácilmente reclamará alguna docena de l/s durante gran parte del día.

En los abastecimientos de agua potable, como en todo sistema de distribución donde existen miles y miles de consumidores con pautas de comportamiento aleatorias, resulta imposible e irrelevante pretender perseguir el comportamiento individual de la demanda ni sus efectos aislados, que se diluyen y amortiguan en el conjunto. En consecuencia, en las redes urbanas las decisiones de consumo de los usuarios individuales no afectan al sistema, sino de una forma acumulada y sólo cuantificable desde un punto de vista estadístico.

Sin embargo en los sistemas de riego, las altas tasas de caudales instantáneos demandados por cada regante, dentro de un colectivo de usuarios ya de por sí comparativamente reducido, dejan sentir en el resto de la red sus acciones individuales.

CONDICIONES MÁS DESFAVORABLES.

Finalmente, cabe señalar que mientras los criterios de diseño de las redes de riego van encaminados a garantizar con presiones suficientes las demandas punta de agua en los meses de máximas necesidades, en los abastecimientos generalmente la demanda punta viene impuesta por las condiciones de prevención de incendios, muy superiores habitualmente a los consumos máximos.

AI.3.3 ESTRUCTURA Y CONTROL DE LA DEMANDA.

Otra diferencia sustancial entre las redes de riego y las de abastecimiento radica en el tipo de comportamiento de la demanda y en el tipo de intervención que el organismo gestor puede practicar para su control y supervisión.

Los rasgos esenciales que se describen a continuación se agruparán bajo los epígrafes:

Variaciones estacionales y diurnas.

Patrones de demanda discontinuos.

Control de las tomas abiertas.

Control y registro de volúmenes consumidos.

Demandas instantáneas constantes y reguladas.

VARIACIONES ESTACIONALES Y DIURNAS.

En cuanto a la estructura de la demanda, encontramos en los regadíos grandes variaciones estacionales, y una menor variación diurna, en relación a los abastecimientos. Mientras que los consumos domésticos, industriales, sanitarios...de los núcleos de población poseen una base sensiblemente constante a lo largo del año, afectados en algunos meses por ligeros incrementos de la demanda, en los sistemas de riego las demandas se concentran en ciertos periodos, existiendo tiempos muertos, durante las temporadas en que no es necesario aplicar agua, en que la red se encuentra inactiva completamente. Lo contrario sucede en las variaciones a lo largo del día: las demandas urbanas se reducen durante las horas nocturnas, reduciéndose hasta el 25% de los picos de consumo diurno, mientras que los caudales demandados a lo largo de las 24 h. por los sistemas de riego deberán poseer mayor uniformidad, especialmente en las redes automatizadas y en las temporadas punta cuando es preciso explotar todas las horas posibles.

PATRONES DE DEMANDA DISCONTINUOS.

Por otra parte, las variaciones del caudal que circula por las redes de riego provienen esencialmente de la variación del número de tomas abiertas simultáneamente, ya que el caudal extraído en cada uno de los hidrantes es prácticamente uniforme una vez que el hidrante está en servicio. En las redes de riego el patrón de la demanda de cada *Nodo* es, por tanto, marcadamente discontinuo: si el hidrante se encuentra abierto reclamará toda la dotación de forma constante mientras continúe abierto, cuando termine la aplicación de la dosis de agua, el hidrante permanecerá cerrado, con caudal estrictamente nulo, durante un período más o menos dilatado. De esta manera, frecuentemente se dan situaciones en las que no existe ningún caudal circulante por gran parte de los ramales, e incluso en toda la red (salvo fugas), eventualidad que es impensable en un abastecimiento.

En los sistemas de abastecimiento la variación de demanda sucede tanto por el aumento del número de usuarios como por la mayor intensidad del caudal demandado según el tipo de uso. Esta modulación se deja sentir en las tomas y los *Nodos* del sistema de forma gradual, dado que comporta la integración de muchas demandas individuales de pequeña magnitud.

CONTROL DE LAS TOMAS ABIERTAS.

A diferencia de las redes de abastecimiento, que contienen numerosas tomas, en las redes de riego es factible disponer cierta supervisión de los caudales suministrados en tiempo real, existiendo la posibilidad de instaurar un notable control, tanto de las tomas en uso como de los caudales suministrados instantáneamente.

Gracias a la difusión actual de las telecomunicaciones, el estado de consumo de las tomas puede ser conocido en cada momento en virtud de los protocolos de notificación de riegos transmitidos a los responsables de la explotación o por medio de procedimientos automáticos, basados en sensores de caudal instalados en los hidrantes. Una sincronización del uso mayor de la prevista en el diseño, el cambio de las condiciones socioeconómicas o una manipulación inadecuada de los hidrantes provocará una sobre-explotación de la red que se traducirá en malfunciones o en ineficiencia en la aplicación de los insumos de agua y energía.

CONTROL Y REGISTRO DE VOLÚMENES CONSUMIDOS.

La estricta contabilización del agua consumida en los sistemas de riego a presión es prácticamente universal, dado que su facturación es un objetivo esencial en los modernos regadíos. En los sistemas de abastecimiento es todavía muy frecuente encontrar tomas de particulares, comunidades, centros públicos, servicios, etc., donde no existe contador alguno, por lo que la determinación de consumos con alguna precisión resulta imposible.

DEMANDAS INSTANTÁNEAS CONSTANTES Y REGULADAS.

Otro factor favorable a la gestión hidráulica de las redes a presión radica en la constancia de los caudales demandados por los hidrantes, una vez que éstos se encuentran abiertos, y la posibilidad de integrar en el modelo de la red el comportamiento de los dispositivos hidráulicos de los usuarios en casos extremos. Esto constituye una diferencia esencial respecto a los abastecimientos, puesto que en estos últimos, aunque la demanda básica de caudales es relativamente constante (dada la acción reguladora de los usuarios en los grifos contrarrestando las variaciones de presión en la red) ciertamente los caudales extraídos de la red, en un momento dado, no pueden ser conocidos con precisión, ni mucho menos el análisis matemático del sistema incorporar el comportamiento hidráulico de las instalaciones interiores de los usuarios.

Cuando en los regadíos los consumos efectuados en los hidrantes abiertos se asimilan a *Nodos* donde la demanda es conocida e independiente de la presión -amén de constante durante el periodo de apertura- se está efectuando una aproximación esencialmente correcta, siempre y cuando existan dispositivos de control interpuestos entre la red de distribución común y la parcela y estos se encuentren operando correctamente. Estos dispositivos básicos consisten en un reductor de presión y un limitador de caudal.

Incluso cuando estos dispositivos no son alimentados con presiones suficientes es posible predecir los consumos instantáneos (ver Anexo II, pág. 335).

AI.3.4 TIPO DE CONDICIONES DE CONTORNO.

En el caso de los sistemas hidráulicos, los puntos donde la altura energética total es conocida pueden asimilarse, a todos los efectos, a los puntos donde la altura piezométrica es conocida (presión y cota dadas) en la medida en que la energía cinética sea despreciable. Esta condición la satisfacen, en primer lugar, los sistemas de alimentación de la red (embalses, balsas, depósitos), dado que en los puntos de referencia presión y cota son impuestas, mientras que la energía cinética resulta insignificante. No obstante, los puntos de descarga de caudal a la atmósfera (emisión a través de válvulas abiertas sin reguladores interpuestos, hidrantes con regulador inoperante, puntos de rotura, aspersores, goteros, cinta de exudación,...) representan también *Nodos* donde la altura piezométrica es conocida, dado que la presión en el punto de descarga es precisamente la atmosférica y la cota corresponde a la del punto de emisión del caudal. En estos casos, aunque la energía cinética en la sección de emisión, *Se*, pueda ser importante en alguno de los anteriores tipos de emisión, en la medida en que la pérdida de energía cinética se considere una pérdida energética más, englobada en las disipaciones del elemento emisor, todos los puntos de emisión pueden asimilarse a puntos de energía total igual a la altura piezométrica (ver Anexo III, pág. 365), de manera que la ecuación que modeliza estos dispositivos en el caso general será:

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

Donde:

L := longitud de la conducción asociada al emisor

D := diámetro hidráulico de la conducción asociada al emisor

S = sección de la conducción asociada al emisor

 $\lambda :=$ factor de fricción de conducción asociada al emisor

k := coeficientes adimensionales de pérdidas singulares

 K_s = coeficiente dimensional característico del emisor

N = exponente característico el emisor

En los emisores de riego, K_s y N en (AI.1) se determinan experimentalmente mediante ensayos de la respuesta presión/caudal del emisor, que se ajustan a una curva del tipo $\Delta H = K_s Q^N$. Si la emisión está caracterizada por otro tipo de dispositivos, con coeficientes dimensionales de pérdidas K' conocidos, y se realiza en una sección de área S_E (Anexo III) entonces:

$$K_{s} = K'Q^{2} + \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{S_{e}^{2}} - \frac{1}{S^{2}} \right) Q^{2}; \quad N = 2$$
(AI.2)

En los sistemas de distribución, los *Nodos* asimilados a puntos de consumo suelen tomarse como *Nodos* donde la demanda está determinada y es independiente de la presión, condición que, como ya se ha estudiado, se verificará tanto en los sistemas de abastecimiento como en las redes de distribución para riego, siempre y cuando la demanda se encuentre regulada por válvulas de apertura variable interpuestas entre la red y el consumidor, reguladas manual o automáticamente, que contrarresten las eventuales variaciones de presión de la red mediante cambios de su grado de apertura.

Es habitual en los abastecimientos y en los sistemas de riego la existencia de un depósito principal de alimentación de cada sector, que se toma como punto de altura

piezométrica conocida. No obstante, en la operación de los sistemas de riego es frecuente encontrar más de un punto de altura piezométrica de la red. Algunas de las situaciones en que esto sucede se describen a continuación:

Puntos de alimentación múltiple.

Bombeos a balsas con tuberías de impulsión de doble sentido.

Emisores de riego.

Descargas no reguladas.

Fugas localizadas y roturas.

PUNTOS DE ALIMENTACIÓN MÚLTIPLE.

Cuando una red dispone de dos fuentes de abastecimiento distintas, depósitos intermedios de acumulación, depósitos de cola... cada uno de los depósitos o balsas se convierte en un punto de altura piezométrica conocida.

BOMBEOS A BALSAS CON TUBERÍAS DE IMPULSIÓN DE DOBLE SENTIDO.

Si bien las condiciones con múltiples depósitos se presentan excepcionalmente en sistemas de riego, son sin embargo muy abundantes las situaciones en que, para dar presión a la red es preciso realizar un bombeo, alimentando la zona, si la orografía lo permite, no directamente desde los grupos de bombeo sino mediante una balsa de regulación/acumulación elevada en la que se descarga el agua bombeada en horas valle desde la balsa inferior (FIGURA AI. 4 a). Habitualmente la conducción mediante la que se efectúa la impulsión coincide en parte del recorrido con las conducciones de cabecera de la red (FIGURA AI. 4 b).



FIGURA AI. 4 Bombeo con depósito de regulación intermedio.

Aunque en la fase de dimensionado se suponga que toda la red se alimenta desde la balsa de cabecera, según las condiciones hidráulicas impuestas por los escenarios que se den en la práctica, pueden encontrarse cuatro tipos de combinaciones de flujo (FIGURA AI. 5). Mientras que los casos a) y b) de la FIGURA AI. 5 todavía responden al paradigma de escenario estrictamente ramificado, los otros dos casos c) y d) suponen la existencia de dos puntos de altura piezométrica conocida.



FIGURA AI. 5 Elevaciones con tuberías de doble sentido.

EMISORES RIEGO.

Si bien las redes de distribución a la demanda no suelen estar directamente conectadas a dispositivos de aplicación de agua a presión (cañones aspersores, redes de aspersión, ramales de goteros o microaspersores, rociadores, cintas de exudación...), las redes de distribución en el interior de la parcela presentan con profusión dispositivos emisores, por lo que cabe adentrarse en dicho ámbito con objeto de completar los aspectos de diseño en parcela.

Las aproximaciones convencionales establecen modelos para las *Líneas de Emisores* en que se insertan los dispositivos de emisión mediante ecuaciones de comportamiento de las pérdidas en el ramal deducidas bajo la hipótesis, aproximada, de suponer un aporte de caudal continuo por emisor o por unidad de longitud. Esta descripción resulta inexacta en la medida que en los emisores la forma constructiva esta fijada de antemano, siendo entonces el caudal aportado función de la presión local y de la curva de respuesta presión/caudal característica de cada tipo de emisor, presión a su vez fuertemente dependiente de las emisiones anteriores y, sobre todo, de las variaciones de cota, que pueden ser muy significativas en sistemas de riego a presión.

La irregularidad y variación de dicha presión conduce a emisiones de caudal inhomogéneas, que es preciso conocer y acotar con objeto de evitar pérdidas de uniformidad inadmisibles. Para ello en las formulaciones tradicionales se revisa "a posteriori" la homogeneidad de presiones, estableciendo el umbral de inhomogeneidad que puede presentarse entre los puntos más desfavorables, como una tolerancia máxima función de las características hidráulicas del emisor (criterio de *Christiansen*). Tales aproximaciones gozan de gran aceptación en la medida que facilitan enormemente los cálculos manuales. Sus inconvenientes estriban en:

- Incierta detección intuitiva de los puntos más desfavorables, especialmente en condiciones de planimetría y altimetría muy irregular, situación relativamente frecuente en estas instalaciones.
- Necesidad de recurrir a hipótesis que no siempre se satisfacen con suficiente aproximación: identidad de emisores, distribución regular de los mismos o de grupos de ellos, parcelas trapezoidales, pendientes uniformes en cada *Línea de Emisores*...
- Realización de sucesivos tanteos si los resultados finales contradicen las hipótesis de partida.

El empleo de métodos computacionales en este contexto permite realizar aproximaciones más detalladas, que no serían sin embargo viables para un cálculo manual, posibilitando superar tales limitaciones. Para ello es preciso configurar las condiciones de contorno en los emisores de forma adecuada y no tomarlos meramente como puntos de suministro de caudal conocido e independiente de la presión.

El parámetro invariable que puede conocerse "a priori" en todo dispositivo de emisión de caudal, y que se constituye en condición de contorno correcta para el análisis hidráulico, es la altura piezométrica en el punto de descarga, que a su vez se puede identificar a la cota, puesto que la altura de presión se anula en el punto de emisión cuando se toman presiones referenciadas a la presión atmosférica. El caudal realmente extraído en cada emisor dependerá de la presión que localmente lo alimente y de su curva de respuesta a la presión $\Delta H = K_s Q^N$, que es preciso especificar (Anexo III pág.365).

Las curvas de respuesta del caudal emitido respecto a la altura de presión de alimentación son caracterizadas por los fabricantes y pueden ser implementadas en el paquete de simulación GESTAR.

DESCARGAS NO REGULADAS.

Bajo este epígrafe deben catalogarse todos los vertidos de caudal al exterior que se realicen sin *Elementos* de control automático para la regulación de la presión y/o el caudal. Así por ejemplo, las descargas a abrevaderos, balsas aisladas, a canales y acequias, a parcelas regadas por gravedad... se efectúan en la práctica mediante una conducción que posee una válvula de seccionamiento en su extremo, operada manualmente en la mayor parte de los casos, que se abre, completa o parcialmente, cuando se necesita el suministro. El caudal que se extrae, para un grado de apertura dado en la válvula, fluctuará en función de la presión reinante en la red (que su vez

depende del caudal extraído). La condición de contorno que reproduce correctamente el comportamiento hidráulico de estos puntos de emisión no es, nuevamente, el "caudal que se desea extraer", puesto que no puede ser especificado sin ajustar la apertura de la válvula de descarga, sino el valor de la altura piezométrica en el punto de descarga.

En la ecuación general de comportamiento del emisor (AI.1) K_s se evaluará según la expresión (AI.2) (ver Anexo III, pág. 365).

$$K_{S} = K'Q^{2} + \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{S_{e}^{2}} - \frac{1}{S^{2}}\right)Q^{2}; \quad N = 2$$

siendo K' el coeficiente dimensional de pérdidas de carga correspondiente al *Elemento* singular a través del que se produzca la descarga, dado por su geometría y grado de apertura. La necesidad de retener las pérdidas lineales en (AI.1) y las energías cinéticas en (AI.2) se examinará en función de las condiciones concretas de la descarga.

FUGAS LOCALIZADAS Y ROTURAS.

Una fuga local puede interpretarse como un vertido al exterior a través de un conducto ficticio de un diámetro, D, que puede hacerse equivalente al diámetro hidráulico de la fisura y con una longitud, L, igual al espesor de la pared del conducto, e. No obstante, esta primera contribución en la expresión (AI.1) puede despreciarse, salvo para un D muy pequeño (fisuras). Si además se desprecia en (AI.2) la energía cinética en el conducto y las pérdidas de energía localizadas que suceden el proceso (desviación de la corriente que fuga, resistencia hidráulica realizada por el terreno circundante) la altura piezométrica en el conducto se transformará íntegramente en energía cinética en la sección perforada o fisurada (criterio conservador que sobrevalorará el caudal fugado) por lo que la relación presión/caudal (AI.1) característica de la fuga se reducirá a la contribución de la energía cinética en la sección de la contribución de la energía cinética en la sección perforada o fisurada (criterio conservador que sobrevalorará el caudal fugado) por lo que la relación presión/caudal (AI.1) característica de la fuga se reducirá a la contribución de la energía cinética en la sección de secape, S_E :

$$\Delta H = 1/(2g S_E^2) Q^2 \quad ; K_s = 1/(2g S_E^2) \qquad , N = 2 \tag{AI.3}$$

En el caso de pretender representar el efecto de una rotura de mayor entidad, se seguiría el mismo proceso, tomando como caso límite de sección de fuga, S_E , en (AI.3) la sección completa transversal del conducto completamente roto, pero tomando la precaución de anular las demandas aguas abajo del punto de rotura completa, dado que ya no existirá continuidad en la ramal que permita alimentarlo.

ANEXO II. MODELIZACIÓN DE LOS HIDRANTES

Se revisa en este anexo el comportamiento hidráulico de los hidrantes y la modelización de los mismos en su acoplamiento a la red y a la parcela con objeto de proceder a su correcta simulación en GESTAR.

AII.1 OPERACIÓN DEL REGULADOR DE PRESIÓN.

- Reducir la presión de alimentación a los equipos de la parcela para protegerlos de presiones excesivas si éstas exceden en la red los valores recomendables.
- Suministrar los niveles de presión adecuados a las especificaciones de las instalaciones de la parcela.
- Mantener la presión constante en la alimentación de los equipos de la parcela, con independencia de las variaciones de presión existentes en la red.

Para realizar esta actuación el regulador/reductor de presión vigilará la presión aguas abajo del hidrante (ver FIGURA AII. 1). Si detecta un aumento de presión, provocado por cualquier causa, (p.e. un aumento de presión en la red colectiva que se transmite a través del hidrante abierto), mediante algún mecanismo automático el regulador procederá a cerrar el obturador de la válvula hidráulica del hidrante, de tal manera que se incrementen las pérdidas de carga hasta reducir la presión aguas abajo al nivel de consigna. Así, en la FIGURA AII. 1 tanto si la presión es p_A (47 mca) en el caso A como p_B (42 mca) en el caso B, los diversos niveles de apertura de la válvula del hidrante provocarán pérdidas de carga de 7 mca y 2 mca respectivamente para mantener invariable en el punto *P* de alimentación de la parcela la presión de consigna (40 mca).



FIGURA AII. 1 Operación de una válvula reductora de presión.

Todo lo contrario sucederá si el regulador de presión detecta una disminución de presión aguas abajo del hidrante, procederá entonces a abrir la válvula hidráulica del hidrante para que las menores pérdidas de carga provocadas en tal caso, respecto a la situación inicial, compensen el decremento de presión en la red. No obstante, el proceso descrito no puede continuar indefinidamente, de tal manera que, cuando la válvula correspondiente al hidrante se encuentre completamente abierta, nuevos descensos de presión en la red no podrán ser contrarrestados por el regulador con aperturas adicionales de una válvula ya completamente abierta, como se indica en la FIGURA AII. 1 para el caso C, con presión de alimentación en la red colectiva de 38 mca. Se trasmitirá entonces directamente la presión local de la red a la parcela (descontando, claro está, las pérdidas de carga que existan en el hidrante cuando se encuentra su válvula reguladora completamente abierta). En definitiva: para mantener la presión en la red sea superior al valor de consigna más el valor de las pérdidas de carga a través del hidrante completamente abierto.

AII.2 OPERACIÓN DEL LIMITADOR DE CAUDAL.

El limitador de caudal tiene como misión evitar que se extraiga del hidrante un caudal instantáneo superior al que el regante tiene concedido como valor máximo (dotación), y que suele coincidir con la demanda instantánea del hidrante cuando éste se abre (aunque no siempre tiene porqué ser necesariamente así, como se verá posteriormente).

Si por cualquier circunstancia (baja resistencia hidráulica de la red interna, rotura de la red, descarga directa a la atmósfera, alteración, intencionada o no, de los parámetros del regulador de presión...), el caudal superase el valor de la dotación

concedida al regante, el dispositivo limitador de caudal anulará la acción de regulador de presión, estrangulando por si mismo el paso del flujo (introduciendo pérdidas de carga suplementarias) tanto como sea necesario para reducir nuevamente el caudal hasta el valor de la dotación. En tal caso, ciertamente la presión de alimentación de los equipos no será la presión de consigna, siendo esta presión, impuesta por el limitador de caudal, el valor necesario para que las instalaciones hidráulicas del sector de riego en operación emitan justamente la dotación.

AII.3 RESPUESTA HIDRÁULICA DE LOS HIDRANTES.

La constancia de la presión aguas abajo del hidrante se traduce en la constancia del caudal emitido por el conjunto de dispositivos de riego conectados al hidrante. Efectivamente, mientras se mantengan inalteradas la distribución de conducciones y emisores en la parcela, para una misma presión de alimentación en la toma común (casos A y B de la FIGURA AI. 4) el caudal emitido será el mismo ($Q_A = Q_B$). Lógicamente, si se altera la conexión de los sectores de riego, o si se modifican los reguladores interpuestos en el interior de la parcela entre el hidrante y los emisores, el caudal neto circulante hacia los equipos, Q_p , se modificará, pero este permanecerá constante en la medida en que se mantenga la disposición de las instalaciones hidráulicas de aplicación del agua.

En consecuencia, a efectos del análisis hidráulico, la red colectiva y las instalaciones hidráulicas de la parcela pueden considerarse completamente independientes, siempre y cuando en la red colectiva reine presión suficiente como para garantizar la actuación del reductor de presión y, en este caso, a la hora de efectuar el análisis de la red de distribución colectiva la condición que debe imponerse como conocida en el *Nodo* donde se instala el hidrante es la constancia de caudal extraído, independientemente de la presión en la red.

Esta demanda instantánea, siempre inferior o igual a la dotación, puede ser conocida experimentalmente, una vez que se ha amueblado la parcela, mediante la medición "in situ" de los volúmenes aportados en la unidad de tiempo, fáciles de determinar gracias a la los contadores volumétricos que suele instalarse actualmente en todos los hidrantes, o mediante caudalímetros portátiles (volumétricos, ultrasonidos) que puede conectarse provisionalmente con dicho propósito. Puesto que el número de tomas en una red colectiva es moderado, resulta sencillo aplicar el procedimiento descrito.

Ahora bien, al hilo de este análisis cabría plantear dos cuestiones de sumo interés de cara a la correcta modelización del sistema bajo todas las condiciones:

1) ¿Cómo anticipar el valor de la demanda en un hidrante **cuando existe presión** suficiente en la red y el reductor de presión está operativo?

2) ¿Cómo anticipar el valor de la demanda en un hidrante cuando **no existe** presión suficiente en la red y el reductor de presión está completamente abierto?

Se procede a tratar con algún detalle ambas cuestiones.

VALOR DE LA DEMANDA CUANDO EL REDUCTOR DE PRESIÓN DEL HIDRANTE ESTÁ OPERATIVO.

El proyectista de la red deberá procurar que, para la presión de consigna que establezca, el caudal emitido por los equipos de riego se ajuste a la dotación autorizada al regante, pues si este es inferior (p.e. por tener la red demasiada resistencia hidráulica) el tiempo de riego se prolongará más de lo necesario. Ahora bien, si la resistencia hidráulica del conjunto de la red interior es demasiado baja, o si se aumenta el valor de tarado del regulador de presión, el caudal extraído podría llegar a ser mayor que la dotación. Para evitar esta circunstancia es preciso instalar adicionalmente en el hidrante un segundo dispositivo regulador: el limitador de caudal. El buen proyecto de la red interna deberá, en consecuencia, agotar, sin superar, la dotación del hidrante cuando la parcela se alimenta con la presión de consigna.

No obstante, si una parcela posee muy diferentes sectores de riego y/o se encuentra en un proceso de implantación de las instalaciones de riego o de los cultivos, pueden encontrase situaciones en que se proyecte deliberadamente un consumo instantáneo inferior a la dotación.

El valor de dichos consumos puede anticiparse en función del diseño y comportamiento hidráulico en el interior de la parcela. **Cuando existe presión en la red colectiva por encima de la consigna del regulador de presión, la red interior puede independizarse de la red colectiva, y la condición que se debe imponer en la alimentación de la red interna es precisamente la presión de tarado del regulador,** por lo que el dato conocido en la cabecera de la parcela es la altura piezométrica aguas abajo del hidrante. Con esta presión de alimentación de la red de distribución interior, y dada la disposición de sus respectivos emisores, tuberías y reguladores adicionales, se realizará una cierta proyección de caudal al exterior. Mediante las estimaciones del proyecto del amueblamiento, o realizando la simulación hidráulica del sistema de riego interior mediante GESTAR, se deducirá el caudal realmente demandado por el sector de riego ante la presión de consigna.

Puede concluirse que, en virtud de:

-La existencia y correcta operación del limitador de caudal en el hidrante.

-La existencia de un correcto proyecto de la parcela, que busque agotar la dotación del hidrante en cada aplicación de agua.

-La existencia en la red colectiva de niveles de presión superiores a la consigna del regulador de presión del hidrante.

El caudal que se extrae de la red a través de un hidrante en un regadío ya consolidado será muy probablemente constante e igual a la dotación.

En todo caso, aunque el sistema hidráulico de la parcela no agote toda la dotación, el caudal extraído del hidrante será constante (e inferior a la dotación)
mientras la presión de la red sea superior al valor de consigna del reductor de presión correspondiente y no se alteren las instalaciones hidráulicas de la parcela.

COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA CUANDO NO EXISTE PRESIÓN SUFICIENTE PARA LA OPERACIÓN DEL REDUCTOR DE PRESIÓN.

Cuando aguas arriba del reductor de presión no se alcanza presión suficiente como para mantener aguas abajo la presión de consigna, éste permanecerá abierto e inactivo, transmitiendo directamente a la cabecera de la parcela la presión de la red colectiva y todas sus fluctuaciones (salvo que la resistencia hidráulica de la red interna de la parcela sea tan baja que el caudal supere todavía el valor de dotación y el sistema limitador de caudal siga teniendo que intervenir).

En tal caso, el comportamiento hidráulico de la red colectiva y el de la red de la parcela ya no son independientes, encontrándose ambas intrínsecamente ligadas ya que, dependiendo del tipo y número de emisores, de su disposición, de las tuberías instaladas... la red interna permitirá un mayor o menor trasiego de caudal a los cultivos en respuesta a la presión que le llega desde la red, que ya no será constante ni conocida "a priori" como sucedía cuando el reductor de presión era capaz de cumplir su función.

En principio, para tratar estas circunstancias sería necesario incluir en el escenario de la red colectiva la configuración de todos los dispositivos hidráulicos internos conectados a la red, analizando conjuntamente el comportamiento integrado de todo el sistema así constituido.

No obstante, esta descripción pormenorizada, aun siendo abordable en último extremo, resultaría excesivamente prolija y poco práctica de cara a la gestión de la red colectiva.

El problema puede obviarse utilizando una técnica alternativa que **describe el** comportamiento hidráulico de la parcela mediante una curva que sintetiza la respuesta del caudal total emitido por el conjunto de equipos instalados en la parcela respecto a la presión de alimentación de la tubería primaria. Dado que con diferentes presiones de alimentación una determinada red interior emitirá diferentes caudales, si se dispone de una relación $H_p = H_p (Q_p)$ que vincule la altura presión aguas abajo de la toma de la parcela, H_p con el caudal total circulante hacia los equipos de la parcela cuando se alimenta con dicha presión, Q_p , expresada, por ejemplo, como una función potencial del tipo:

$$H_p = H_p \left(Q_p \right) = K_s Q_p^N \tag{AII.1}$$

Se podrá tratar todo el sistema "colgado" a partir de un hidrante como un emisor (Anexo III, pág. 365) de comportamiento hidráulico equivalente que posee la misma curva de respuesta presión/caudal (FIGURA AII. 2).



FIGURA AII. 2 Ejemplo de ajuste potencial H_p = K_s Q_p^N de la función que vincula la presión de alimentación de las instalaciones de la parcela con el caudal neto servido a las mismas.

La determinación de los coeficientes K_s y N de la citada función de respuesta (AII.1) puede ser acometida (FIGURA AII. 2) mediante técnicas de ajuste potencial por mínimos cuadrados de un conjunto de pares de valores: presión de alimentación/caudal total circulante, encontrados de forma analítica o experimental.

Si se recurre a una metodología analítica se simulará -con el auxilio de un paquete adecuado de cálculo hidráulico, p.e. GESTAR- la red completa de distribución en la parcela con todos sus emisores y dispositivos de control (FIGURA AII. 3), alimentándola en sucesivas simulaciones con diferentes presiones, H_p , y calculando el correspondiente caudal circulante por la tubería primaria hacia el sistema de riego, Q_p . Esta técnica permitirá predecir la curva de respuesta presión/caudal, $H_p = H_p$ (Q_p), tanto si el amueblamiento se ha realizado como si todavía está en proyecto.

Si las instalaciones interiores ya se han ejecutado y se encuentran operativas, la función $H_p = H_p$ (Q_p) de toda la parcela se puede encontrar empíricamente estrangulando gradualmente una válvula situada después del hidrante (FIGURA AII. 3) y midiendo simultáneamente, para cada grado de cierre de la válvula, la presión en el manómetro, H_p , y el correspondiente caudal circulante por la cabecera de la toma, Q_p .



FIGURA AII. 3 Ensayo de campo para la medida de la función de respuesta de la parcela Hp = Hp (Qp)

Cualquiera de las dos metodologías son lo suficientemente sencillas como para ser implementadas en la práctica, especialmente si se realiza el diseño de la red de la parcela con el auxilio de GESTAR, requiriéndose en cualquier caso un tiempo y recursos mínimos respecto a otras tareas de proyecto o gestión habitualmente asumidas en la ingeniería del riego.

AII.4 MODELIZACIÓN DE LOS HIDRANTES EN GESTAR.

El comportamiento descrito de los hidrantes es implementado de forma compacta en el módulo de cálculo *NETCAL*. Los valores de K_s y N de la curva de comportamiento de la parcela son introducidos en GESTAR en la ventana de definición de los hidrantes (ver pág. 91)1 asimismo se introduce el valor del coeficiente dimensional de pérdidas singulares en el hidrante, K_{sH} , cuando éste se encuentra completamente abierto, correspondiente a la expresión:

 $\Delta H = K_{sH} Q^2 \tag{AII.2}$

que puede hacerse nulo si se desprecian dichas pérdidas.

El comportamiento combinado del regulador de presión y caudal del hidrante, integrado con la respuesta de la parcela, puede modelarse de forma compacta combinando la curva de respuesta presión/caudal y el valor de consigna del limitador de caudal. La descripción de la estrategia implementada se apoya en la FIGURA AII. 4, donde, para simplificar el razonamiento, se supone que la demanda instantánea establecida en la ventana del hidrante coincide con la dotación. La presión de consigna del reductor de presión es H_c y la demanda de la parcela cuando la toma se abre es Q_{dot} . La aproximación potencial que se realiza de la respuesta presión/caudal de la parcela deberá corresponder a las curvas de tipo A ó B, dado que el tipo C no es compatible con las condiciones de alimentación impuestas. En la curva C de la FIGURA AII. 4 se observará que si se alimenta la red con presiones superiores a la de consigna, el regulador reducirá la presión al nivel de consigna, pero la red de la parcela, alimentada con dicha presión, evacuará un caudal inferior a la demanda supuesta, que en este caso es igual a la dotación. Para evitar esta situación contradictoria la ventana de definición de los hidrantes reguladores realiza una verificación de los valores introducidos que excluye tal posibilidad.

En la FIGURA AII. 4 la curva de respuesta presión/caudal A indica que justamente se suministra el valor de la dotación para la presión de consigna. La curva A pasa por el punto (H_c , Q_{dot}), de manera coherente con los datos suministrados, sin que exista intervención del limitador del caudal. La parcela estará óptimamente diseñada al agotar todo el caudal otorgado, Q_{dot} , cuando se alimenta con la presión de consigna, H_c .

Si la parcela posee una curva de alimentación de tipo *B*, una alimentación con la presión de consigna H_c , implica un suministro de caudal a la parcela Q_{max} , de valor superior a la dotación configurada ante la apertura en el hidrante. Deberá mediar entonces la intervención del limitador de caudal que, produciendo una caída de presión adicional, $H_c - H_{limite}$, impedirá superar el valor de Q_{dot} . La parcela, que posee una resistencia hidráulica neta más baja que la del caso *A*, será alimentada por una presión inferior a la dotación limitada, Q_{dot} . El valor de H_{limite} se conoce en función de los valores de K_s , *N* y la dotación especificados en el hidrante (ver FIGURA AII. 4).

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

$H_{cal} > H_{limite}$

Si la presión después del hidrante, H_{cal} , es superior o igual a H_{limite} (casos A y B), el hidrante se configura como *Nodo* de *Consumo Conocido* con consumo igual a la dotación. En el caso B la presión en la red podrá incluso bajar por debajo del valor de consigna, H_c , sin que se modifique el caudal extraído por el hidrante, siempre y cuando H_{cal} se mantenga por encima de H_{limite} .

$H_{cal} < H_{límite}$

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

Finalmente, hay que recordar que el razonamiento anterior ha partido del supuesto en que la demanda instantánea equivale a la dotación que la parcela tiene concedida. No obstante puede darse el caso en que esto no sea así. Previendo esta eventualidad, en el procedimiento anteriormente descrito, el algoritmo se implementa en la práctica utilizando el valor de la demanda instantánea -establecida en la ventana de

definición del hidrante, y que es igual o menor que la dotación del hidrante- en vez del valor de la dotación. Esto implica que se supone que la consigna del limitador de caudal del hidrante se regula siempre al mismo nivel establecido en la ventana de la demanda instantánea.



FIGURA AII. 4 Modelización de hidrantes reguladores

ANEXO III. MODELIZACIÓN DE EMISORES



FIGURA AIII. 1 Definición de variables en emisor.

Sea $P, Z \neq V$ la presión, la cota y la velocidad en un punto de la tubería, respectivamente. El salto de altura energética entre los extremos de un dispositivo emisor que comienza en C (

FIGURA AIII. 1) y descarga a la atmósfera en el punto *E* a través de una sección S_E un líquido de densidad ρ , es

$$\left(\frac{P}{\rho g} + Z + \frac{V}{2g}\right)_{C} - \left(\frac{P}{\rho g} + Z + \frac{V}{2g}\right)_{E} = K'(Rey, P_{C})Q^{2}$$
(AIII.1)

donde el lado derecho de (AIII.1) se asocia a las pérdidas de carga en el propio emisor (disipación en el emisor de energía mecánica en la unidad de tiempo por unidad de peso circulante). El coeficiente K' en (AIII.1) es función de la geometría, número de *Reynolds* (y en consecuencia del caudal) y además de la presión de alimentación, P_c , en el caso de poseer *Elementos* deformables (emisores autocompensantes).

Reordenando la expresión (AIII.1) y puesto que la presión en la sección de descarga, S_E , es la de la atmósfera, ($P_E=P_{atm}$), (AIII.1) equivale a:

$$H_{E} - H_{C} = \left(\frac{P}{\rho g} + Z\right)_{C} - \left(\frac{P}{\rho g} + Z\right)_{E} = K'Q^{2} + \frac{1}{2g}\left(\frac{1}{S_{E}^{2}} - \frac{1}{S_{C}^{2}}\right)Q^{2} \quad \text{(AIII.2)}$$

En (AIII.2) el segundo término de la derecha se puede interpretar como la pérdida de toda la energía cinética con que se proyecta el fluido en la sección de emisión, donde la presión es atmosférica.

El último término de (AIII.2) corresponde a la energía cinética del flujo a la entrada del emisor, término habitualmente despreciable.

Dado que las secciones de proyección de caudal no suelen encontrarse bien definidas en la práctica, las tres contribuciones de la derecha de (AIII.2), todas dependientes del caudal, admitirán una aproximación conjunta, al menos para un cierto rango de caudales, de tipo potencial:

$$K_{S}Q^{N} := K'Q^{2} + \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{S_{E}^{2}} - \frac{1}{S_{C}^{2}}\right)Q^{2}$$
 (AIII.3)

Lógicamente el coeficiente Ks y el exponente N en (AIII.3) son distintos de los que figuran en (AIII.2) y sus valores se determinan fácilmente ajustando una función potencial a los datos experimentales documentados por los fabricantes, que reflejan el caudal emitido en función de la presión de alimentación relativa a la atmósfera.

En los emisores para riego localizado la contribución de energía cinética en la descarga es despreciable, pero K' depende del caudal, induciendo valores de N superiores a 2. No así sucede en otros dispositivos (aspersores, mangueras, fugas,...) de alta energía cinética a la salida, donde K' tiende a ser un valor constante, lo que implica un valor de N igual a 2.

La diferencia de cotas entre *C* y *E* puede despreciarse sistemáticamente, por lo que el salto de alturas piezométricas entre los extremos del emisor, $\Delta H = H_c - H_{atm}$, se identifica sistemáticamente en la práctica con la altura de la presión manométrica que alimenta el emisor:

$$\Delta H = H_C - H_{atm} = (P_C - P_{atm}) / \rho g \tag{AIII.4}$$

En consecuencia, el comportamiento del dispositivo emisor se modeliza según:

$$\Delta H = K_s Q^N \tag{AIII.5}$$

Puesto que los emisores se conectan a los puntos de alimentación mediante conductos, que a su vez incluyen pérdidas singulares y lineales, conviene reunir en un solo *Elemento* el emisor y el conducto asociado mediante una expresión adecuada para el salto de altura piezométrica.

Suponiendo que el emisor se encuentre al final de un tramo de longitud L, de una tubería de diámetro hidráulico D, sección constante S y que contenga pérdidas singulares dadas por coeficientes adimensionales k, la diferencia de alturas piezométricas entre el extremo inicial del *Elemento A* (

FIGURA AIII. 1) y el punto de comienzo del emisor C se evaluará de la siguiente manera:

$$H_A - H_C = \frac{1}{2g} \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum k \right) \frac{Q^2}{S^2}$$
(AIII.6)

donde se ha recurrido a la formulación de *Darcy-Weisbach* para el cómputo de las pérdidas lineales, siendo λ el coeficiente de fricción.

Despejando el valor de la altura piezométrica en C por medio de la expresión (AIII.2) e introduciéndolo en (AIII.6), se obtendrá la ecuación que modeliza el conjunto emisor:

$$\Delta H = H_A - H_E = \frac{1}{2g} \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum k \right) \frac{Q^2}{S^2} + K_S Q^N$$
(AIII.7)

Cuando la emisión se realice a través de válvulas abiertas, descargas libres, fisuras y fugas, la contribución $K_s Q^N$ de (AIII.7) deberá substituirse por su expresión inicial (AIII.3) ya que entonces S, S_E serán impuestas y K' se deducirá del coeficiente adimensional de pérdidas de la singularidad a través de la que se evacue el caudal.

En los sistemas de riego por aspersión, incluso en las coberturas totales, las actuales herramientas computacionales que aporta GESTAR permiten abordar la consideración individual de cada aspersor como un emisor específico, aunque el entorno gráfico deberá ser potenciado para abordar con facilidad sistemas de centenares o miles de aspersores.

No obstante, en los riegos localizados aparecen numerosos emisores consecutivos, que, en el caso más extremo, las *Líneas de Emisores* en riego por goteo, pueden contener hasta cientos de puntos de emisión en cada Línea de Emisores. Las cintas de exudación de paredes permeables, que realizan un aporte de caudal continuamente distribuido, pueden considerarse como un caso límite de este grupo. En estos casos el tratamiento de cada punto de emisión como un Nodo específico de la red no resulta práctico ni viable, con las aproximaciones individualizadas que se han descrito dada la enorme dimensionalidad gráfica y computacional que se introduciría en el sistema, siendo de interés el introducir nuevas aproximaciones aptas para su tratamiento computacional que superen a las clásicas hipótesis simplificativas que suponen el caudal suministrado independiente de la presión, pero que no exijan una ecuación de comportamiento para cada emisor. En este terreno se han realizado formulaciones preliminares, pendientes de verificar y que, en consecuencia, no se han incorporado a GESTAR 1.2. La modelización avanzada del funcionamiento de dichos dispositivos ha requerido adaptar formulaciones recientes^{5,6} obteniendo ecuaciones de comportamiento de carácter analítico que son consideradas y resueltas conjuntamente con el resto del sistema para determinar, como parte integral de los resultados, el caudal efectivamente suministrado por cada grupo de emisores.

ANEXO IV. PROBABILIDAD DE APERTURA DE UN HIDRANTE

En el cómputo de la probabilidad de apertura de un hidrante se precisa conocer los siguientes parámetros:

C C	_	Área Pegada de la percelo		
\mathcal{S}_p	=	Area Reguaa de la parcela	(na)	
Q_{dot}	=	Dotación de Caudal para la	Parcela (^{m3} /s)	
r	=	Rendimiento operativo		
r = Tr / T				(AIV.1)

r mide la proporción del tiempo en que efectivamente se aplica el riego, T_r , descontando los periodos de reparación o mantenimiento, los días inhábiles para el riego, las horas extremas, etc. respecto al tiempo total de la campaña, *T*. Es preciso considerar este factor para determinar el tiempo de uso de cada hidrante, ya que en el cómputo del caudal ficticio continuo, q_{fc} , se supone una aportación ininterrumpida de agua a lo largo de las 24 horas del día.

El tiempo de uso asociado a una toma, t, equivale al tiempo necesario para recibir el volumen de agua que requiere la parcela, según las necesidades de los cultivos, dadas por q_{fc} , es decir:

$$10^3 \cdot Q_{dot} \cdot t = q_{fc} \cdot S_p \cdot T \tag{AIV.2}$$

Despejando t de (AIV.2) se obtiene el tiempo de riego de la parcela para el hidrante instalado:

$$t = \frac{q_{fc} \cdot S_p}{10^3 \cdot Q_{dot}} \cdot T .$$
 (AIV.3)

La probabilidad de apertura de un hidrante se define como el cociente entre el tiempo que el hidrante debe estar abierto, t, respecto al tiempo efectivamente disponible para regar, T_r . Teniendo en cuenta (AIV.1) y (AIV.3) esta probabilidad se evalúa:

$$p = \frac{t}{T_r} = \frac{1}{r} \cdot \frac{t}{T} = \frac{q_{fc} \cdot S_p}{10^3 \cdot Q_{dot}} \cdot \frac{1}{r}$$
(AIV.4)

El *Grado de Libertad*, *GL*, del hidrante se define como el inverso de la probabilidad y representa el número de veces que el tiempo realmente disponible, T_r , contiene al tiempo necesario para el riego, *t*, y se expresa como:

$$GL = \frac{1}{p} = \frac{T_r}{t} = \frac{10^3 \cdot Q_{dot} \cdot r}{q_{fc} \cdot S_p}$$
(AIV.5)

Si, dados q_{fc} , S_p y r se fija la dotación, Q_{dot} , mediante (AIV.4), se determina la probabilidad de apertura del hidrante, de la que también se deducirá el grado de libertad.

Si, alternativamente, se fija el grado de libertad, GL, o lo que es lo mismo, la probabilidad de uso de un hidrante, de (AIV.5) se deduce la dotación que es preciso asignar a cada hidrante:

$$Q_{dot} = \frac{q_{fc} \cdot S_p}{10^3 \cdot r} \cdot GL \tag{AIV.6}$$

Cuando las dotaciones de los hidrantes están reducidas a valores escalonados, el proyectista define, según el tamaño de la parcela, el rango de dotación adecuada. En tal caso la dotación será dato y la probabilidad de apertura diferirá de una parcela a otra, calculada por (AIV.4).

En la actualidad es posible establecer también consignas arbitrarias en los limitadores de caudal de los hidrantes, permitiéndose cualquier valor dentro del rango del tamaño respectivo, que puede ser fijado en fábrica y/o modificado en el campo. En tal caso puede resultar de interés especificar un grado de libertad homogéneo para un conjunto de las parcelas, o todas, con objeto de que los riegos se efectúen con flexibilidad pareja, calculándose entonces la dotación según (AIV.6).

En la ventana de definición de los *Nodos de Consumo Conocido* (ver pág. 87) y de los Hidrantes Reguladores (ver pág. 91) aparecen opciones para introducir la dotación (opción por defecto) o el grado de libertad como parámetros básicos de definición del *Nodo*. La opción por defecto no precisa suministrar los valores de q_{fc} , S_p y r salvo que se desee hacer intervenir las probabilidades de apertura de cada hidrante, mientras que si se elige la especificación del grado de libertad, necesariamente el usuario tendrá que suministrar además, estos valores para fijar la dotación.

ANEXO V. PÉRDIDAS EN BIFURCACIONES

El paquete de cálculo incorpora una opción para incluir automáticamente el cómputo de pérdidas singulares en las bifurcaciones y uniones. Se consideran exclusivamente enlaces de tres conductos. Los enlaces serán detectados a partir del grafo de la red¹ y se supondrá por defecto la unión a 90°. Según los sentidos de circulación, los tramos de la unión y la magnitud relativa de los caudales bifurcados o reunidos, se establecen los correspondientes coeficientes de pérdidasⁱⁱ. Se supone un cociente por defecto entre el radio de redondeo, r, y el diámetro de la tubería, D, de valor r/D=0,1. Los Elementos se ordenan de mayor a menor diámetro siguiendo un índice creciente extendiendo las formulaciones de referencia al caso en que las áreas o las velocidades no sean iguales. Al no estar incluido el Nodo de intersección de la T en la formulación de referencia por aparecer únicamente dos ecuaciones de energía en ésta es preciso realizar la transformación que permita reasignar las pérdidas de la T a las tres ecuaciones de energía con que trabaja el programa. El procedimiento seguido consiste en asignar la pérdida asociada en la referencia con la velocidad de rama principal a la otra rama que aparece en la ecuación de la energía. Igualmente se asignará a la segunda el término de velocidad de la primera. Los diferentes casos quedan como sigue:

Caso 1:



$$\Delta H_{T12} = K_{S1} \cdot Q_1^2$$

$$K_{S1} = \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_2^2}{Q_1^2 \cdot D_2^4} \cdot \left(1.045 + 0.9 \cdot \frac{Q_3 \cdot D_2^2}{Q_2 \cdot D_3^2} - 0.723 \cdot \left(\frac{Q_3 \cdot D_2^2}{Q_2 \cdot D_3^2} \right)^2 \right) - \frac{1}{D_1^4} \right) \quad (AV.1)$$

donde ΔH_{T12} hace referencia únicamente a las pérdidas singulares entre 1 y 2 debidas a la T y no incluye el resto de pérdidas que se producen en las tuberías 14 y 42.

ⁱⁱ Blevins, R. D. (1984). Applied Fluid Dynamics Handbook, pp 91. Van Nostrand Reinhold Company Inc.

$$\Delta H_{T32} = K_{S3} \cdot Q_3^2$$

$$K_{S3} = \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_2^2}{Q_3^2 \cdot D_2^4} \cdot \left(1.837 - 0.746 \cdot \frac{Q_1 \cdot D_2^2}{Q_2 \cdot D_1^2} - 0.939 \cdot \left(\frac{Q_1 \cdot D_2^2}{Q_2 \cdot D_1^2} \right)^2 \right) - \frac{1}{D_3^4} \right) (AV.2)$$

Caso 2:



$$\Delta H_{T12} = K_{S2} \cdot Q_2^2$$

$$K_{S2} = \begin{cases} \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_1^2}{Q_2^2 \cdot D_1^4} \cdot \left(1.55 \cdot \left(0.22 - \frac{Q_3 \cdot D_1^2}{Q_1 \cdot D_3^2} \right)^2 - 1.03 \right) + \frac{1}{D_2^4} \right); \ 0 \le \frac{V_3}{V_1} \le 0.22 \\ \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_1^2}{Q_2^2 \cdot D_1^4} \cdot \left(0.65 \cdot \left(\frac{Q_3 \cdot D_1^2}{Q_1 \cdot D_3^2} - 0.22 \right)^2 - 1.03 \right) + \frac{1}{D_2^4} \right); \ 0.22 < \frac{V_3}{V_1} \le 1 \end{cases}$$
(AV.3)

donde los términos V denotan velocidades.

$$\Delta H_{T13} = K_{S3} \cdot Q_3^2$$

$$K_{S3} = \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_1^2}{Q_3^2 \cdot D_1^4} \cdot \left(-0.083 - 0.942 \cdot \frac{Q_3 \cdot D_1^2}{Q_1 \cdot D_3^2} + 0.894 \cdot \left(\frac{Q_3 \cdot D_1^2}{Q_1 \cdot D_3^2} \right)^2 \right) + \frac{1}{D_3^4} \right)$$
(AV.4)

Caso 3:



$$\Delta H_{T31} = K_{S1} \cdot Q_1^2$$

$$K_{S1} = \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_3^2}{Q_1^2 \cdot D_3^4} \cdot \left(-0.41 + 0.714 \cdot \frac{Q_1 \cdot D_3^2}{Q_3 \cdot D_1^2} - 0.467 \cdot \left(\frac{Q_1 \cdot D_3^2}{Q_3 \cdot D_1^2} \right)^2 \right) + \frac{1}{D_1^4} \right) (AV.5)$$

El cálculo de ΔH_{T32} se realizaría de manera similar, sustituyendo los subíndices *l* por los subíndices 2.

Caso 4:



$$\Delta H_{T13} = K_{S1} \cdot Q_1^2$$

$$K_{S1} = \frac{16}{2 \cdot g \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{Q_3^2}{Q_1^2 \cdot D_3^4} \cdot \left(1.869 - 1.557 \cdot \frac{Q_2 \cdot D_3^2}{Q_3 \cdot D_2^2} + 1.171 \cdot \left(\frac{Q_2 \cdot D_3^2}{Q_3 \cdot D_2^2} \right)^2 \right) - \frac{1}{D_1^4} \right) (AV.6)$$

El cálculo de ΔH_{T23} se realizaría de manera similar, sustituyendo los subíndices *l* por los subíndices 2.

ANEXO VI. VENTANA DE PARÁMETROS

La opción *Parámetros* del menú *Cálculos* permite modificar una serie de parámetros que controlan la inicialización del sistema, la convergencia, la relajación y el factor de condicionado de los *Elementos* de baja resistencia. El cuadro de diálogo al seleccionar esta opción, tal como se comenta al hablar del menú *Cálculos* en el apartado 5.6 (pág. 158), es el de la FIGURA AVI 1.

🚰 Preferencias 🛛 🔀					
Nodos Elementos Parámetros Características Etiquetas Visualización					
Máximo número de iteraciones 20 Error dinámico	- Configuración				
Iolerancia adimensional del residuo 0,0001					
⊻alor de inicialización 1 0,01	<u>D</u> efinir estos parametros como predeterminados				
Coeficiente de relajación					
Coeficiente de condicionado	<u>R</u> ecuperar los valores que originalmente ofrecía Gestar.				
Tipo inicialización Velocidad (excepto bombas)					
En los tipos 2 y 3 se considerará como caudal inicial para las bombas el correspondiente al punto medio de su curva de funcionamiento.					
Aceptar Cancelar Aplicar					



Este bloque de parámetros viene configurado por defecto y para su modificación es recomendable poseer una cierta experiencia en el manejo del programa y en el cálculo de redes con objeto de modificarlo con seguridad y hacer un uso eficiente del mismo. Posiblemente, una vez optimizados definitivamente los valores convenientes de los parámetros reseñados, esta sección desaparezca de las próximas versiones. Los parámetros precisos son los siguientes:

- Máximo número de iteraciones.
- Tipo de error dinámico.

- Error dinámico.
- Tolerancia adimensional del residuo.
- Tipo de inicialización.
- Valor de inicialización.
- Coeficiente de relajación.
- Coeficiente de condicionado.
- Posibilidad de crear fichero de iteraciones

AVI.1 MÁXIMO NÚMERO DE ITERACIONES.

Este parámetro indica el máximo número de iteraciones que se permite realizar al programa para lograr la convergencia.

No conviene que sea elevado para evitar mucho tiempo de cálculo sin finalmente lograr la convergencia. Tampoco que sea excesivamente bajo como para que no permita encontrar la solución en redes de lenta convergencia. Normalmente se logra la convergencia con un número de iteraciones inferior a 10. Aún en redes muy extensas y con *Elementos* patológicos, la convergencia se deberá lograr por debajo de las 20 iteraciones. De no alcanzarse en dicho margen, es muy probable que permitiendo un número mayor de iteraciones el proceso siga sin converger, y de hacerlo será sospechoso de la existencia de algún error en la definición de la red.

AVI.2 TIPO DE CONTROL DE LA CONVERGENCIA

La convergencia de los cálculos hacia la solución se controla mediante dos criterios de error, cuando los errores calculados son menores que los proporcionados por el usuario, el programa considera conseguida la convergencia. Estos dos errores son:

- ♦ A. Error estático: Definido como el cociente entre el residuo medio de las ecuaciones que forman el sistema nodal de cálculo y el caudal medio en los Elementos.
- B. Error dinámico: b1) de altura en nodos o b2) de caudal relativo en elementos: Se establece en función de la máxima diferencia entre el valor de la altura en los Nodos, o del caudal relativo en Elementos, entre dos iteraciones consecutivas. Tiene dimensiones de metros en el caso b1 y es adimensional en el b2.

Una selección desacertada de los umbrales de error aceptados para la convergencia puede conducir a falsas conclusiones tanto por finalizar el proceso antes de conseguir una precisión suficiente, cuando el margen es muy amplio, como por

inducir una falsa falta de convergencia por haber establecido valores excesivamente restrictivos.

El seguimiento de los errores mostrados por el programa en cada iteración, como la activación de las opciones que muestran resultados parciales en los *Elementos*, puede ayudar a juzgar si los criterios de error han sido dados correctamente.

Las opciones de tipo de control de convergencia son dos, y los errores que controlarán la convergencia según selección son:

AVI.3 TIPO DE INICIALIZACIÓN

Este parámetro hace referencia a la forma de inicializar el sistema de ecuaciones. Existen tres tipos de inicialización que se seleccionan de la lista Tipo inicialización:

1. **N° de Reynolds:** Se inicializan todos los *Elementos* con el número de Reynolds que se pide en valor de inicialización (sólo recomendable si no existen bombas en la red).

2. Velocidad (excepto bombas): Se inicializan todos los *Elementos* con una velocidad de circulación estimada que se pedirá a continuación, salvo las bombas, que se inicializan en su punto medio de funcionamiento (opción recomendada).

3. Nº de Reynolds (excepto bombas): Se inicializan todos los *Elementos* con el número de Reynolds que se pedirá a continuación, salvo las bombas, que se inicializan en su punto medio de funcionamiento.

AVI.4 VALOR DE INICIALIZACIÓN

Representa el valor con el que se van a inicializar los *Elementos*. En función del tipo de inicialización seleccionado será el número de Reynolds o la velocidad (en m/s).

VALORES RECOMENDADOS:

Reynolds = 1000.

Velocidad = 1.0 m/s

En la mayoría de los casos el tipo de inicialización no influye en la convergencia final del proceso sino en el número de iteraciones necesarias para finalizar los cálculos, siendo la opción 2 la que generalmente presenta mejor comportamiento al respecto.

AVI.5 COEFICIENTE DE RELAJACIÓN

Este coeficiente se utiliza para relajar las oscilaciones en el método de Newton-Raphson utilizado en la resolución del sistema no lineal. Su valor teórico puede estar entre 0 y 1, aunque **se recomienda no utilizar valores por debajo de 0.5**. Para prevenir inestabilidades asociadas a una inicialización muy alejada del estado final, durante las tres primeras iteraciones, GESTAR relaja incondicionalmente con un factor 0.5. En un primer pase se recomienda no relajar. Si la solución del sistema no converge es conveniente relajar el método en sucesivos pases. Cuando el programa detecta una buena tasa de convergencia, suprime los factores de relajación que hubieran sido definidos.

AVI.6 PARÁMETRO DE CONDICIONADO

Este parámetro establece el umbral del coeficiente de conductividad

KC=1/(Ks Q)

de los conductos de la red por encima del cual los *Elementos* han de tomarse como de baja resistencia desensamblándolos de las ecuaciones nodales, ya que, de lo contrario su coeficiente de conductividad, de diferente orden de magnitud respecto al resto, producirá un mal condicionamiento de las matrices empleadas en el proceso de cálculo, comprometiendo o imposibilitando la convergencia de la red.

Cuando un *Elemento* tiene baja resistencia o vehiculiza un caudal pequeño, de manera que KC supera el umbral establecido, la ecuación de comportamiento del *Elemento* en cuestión se desensambla del sistema de ecuaciones nodales y se añade su ecuación al sistema general.

Conforme disminuimos este parámetro, el número de *Elementos* considerados como de baja condición aumenta y, en consecuencia, el tiempo de cálculo de cada iteración, puesto que se resuelve un sistema de ecuaciones mayor. Se recomienda en principio un valor del orden de 1 a 0.1 m2 s-1. Si se establece un valor nulo del parámetro de condicionado, todos los *Elementos* de la red aparecerán desensamblados.

ANEXO VII. ESTRUCTURA DE LAS BASES DE DATOS DE REDES DE GESTAR

AVII.1. INTRODUCCIÓN

GESTAR ofrece la posibilidad de almacenar las redes en formato de bases de datos de tipo ACCESS. En el apartado 7.4 pág.188 se ofrece la información relativa a la creación y posibilidades de utilización de las redes guardadas en este formato. En este anexo se detalla la estructura de las bases de datos que genera GESTAR y un breve comentario descriptivo de las tablas y los campos en los que se almacena la información de las redes.

Para guardar una red en formato de base de datos, hay que utilizar el comando *Archivo/ Exportar/ Base de Datos Access*, presente en el menú principal de GESTAR. La creación de este fichero, con extensión "mdb", permite la utilización de toda la potencia de ACCESS para la manipulación, la gestión y el análisis de los datos y los resultados de una red.

Las redes en formato de bases de datos pueden ser abiertas por la aplicación GESTAR mediante el comando *Archivo/ Importar/ Base de Datos ACCESS*.

AVII.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TABLAS DE LAS BASES DE DATOS DE REDES.

Cada base de datos de redes creada a través de GESTAR contiene un total de 16 tablas, en las que se distribuye toda la información de la red, así como los resultados procedentes de la simulación hidráulica en el caso de que ésta se hubiera producido. Éstas son las tablas:

- Accesorios. Información de los accesorios asociados a los *Elementos Tubería* o a los tramos asociados a los *Nodos Emisores*.
- **Balsas.** Información de *Nodos Balsa* referente a ubicación y altura (*x, y cota*), niveles (*Niv. Max., Niv. Min., Niv. Inicial, Niv. Actual*) y en el caso de que la modelización se realice asimilando la balsa a un depósito troncocónico, *Sección y Pendiente*.

- **BalsaSplines.** Información de *Nodos Balsa* referente a la tabla H/V de definición de la curva de Volumen.
- **Bombas.** Información general de Elementos Bomba, y en el caso de que se escoja un ajuste parabólico único para todo el rango de caudales, de los parámetros referentes a esta formulación.
- **BombaSplines.** Información de *Elementos Bomba* referente a la tabla de definición para su ajuste mediante *Splines*.
- *Tuberías*. Información de Elementos Conducción. Por lo general, esta tabla será la más extensa, puesto que el *Elemento* básico de toda red de riego es la tubería. Como GESTAR puede tomar los datos de las tuberías de una completa base de datos, el listado de las *Tuberías* de la red resulta muy completo y útil.
- Consumo conocido. Información de Nodos de Demanda Conocida.
- DetallePolitubos. Información de los vértices intermedios de las *Tuberías*.
- Doble condición. Información de *Nodos con Doble Condición*.
- Elesk. Información de *Elementos Libres*.
- Embalses. Información de *Nodos Embalse*.
- Emisores. Información de *Nodos Emisores*.
- Hidrantes. Información de Nodos Hidrantes Reguladores.
- Nodos de unión. Información de *Nodos de Unión*.
- Pérdidas. Listado de todas las pérdidas singulares existentes en la red.
- Presión Regulada. Información de Nodos de Presión Conocida.
- Sin condición. Información de *Nodos Libres*.
- Válvulas. Información de *Elementos Válvula*.
- Vis. Información de los parámetros de visualización de la red: tamaño de mapa y parte visible de éste.

AVII.3 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMPOS DE LAS BASES DE DATOS DE REDES.

Brevemente se describen todos y cada uno de los campos de las 19 tablas de las redes de GESTAR en formato de base de datos.

AVII.3.1. TABLA ACCESORIOS.

- Tipo. Tipo de accesorio ("Codo anguloso", "Codo radio grande", "Codo radio mediano", "Codo radio pequeño", "Entrada brusca", "Entrada recta", "Reducciones", "Válvula retención")
- Parámetro. Parámetro característico del tipo de accesorio existente.
- Valor. Valor del parámetro del campo *Parámetro*.
- Num. Número de accesorios existentes.
- Ks. Parámetro k de la expresión de pérdidas $H=k\cdot(v^2/2\cdot g)$ del accesorio.
- Elemento. Identificativo del *Elemento* al que se asocia el accesorio.

AVII.3.2. TABLA BALSAS.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- X. Coordenada X respecto al origen (metros).
- Y. Coordenada Y respecto al origen (metros).
- Cota. Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- Sección. Área de la lámina libre de la balsa en su nivel máximo (m²).
- Pendiente. Ángulo que forman las paredes de la balsa con la horizontal (grados; mayor que 0° y menor que 90°)
- NivMax. Nivel máximo de fluido admisible en la balsa (m).
- NivMin. Nivel mínimo de fluido admisible en la balsa (m).
- NivInicial. Nivel inicial de fluido en la balsa con que se comenzará la simulación en período extendido (m).

- NivActual. Nivel actual de fluido en la balsa en el instante actual de la simulación en período extendido (m).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ConsumoCalc. Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m³/s).

AVII.3.3. TABLA BALSASPLINES.

En esta tabla se recoge información referente a la tabla H/V de definición de la curva de volumen de las balsas.

- **IBa.** *Identificativo Balsa.* Número correlativo asignado a cada balsa en función de su ordenación, según se recoge en la tabla anterior (tabla *Balsas*).
- **H.** *Altura (m)*. Altura de llenado de la balsa.
- V. *Volumen* (*m*³). Capacidad de almacenamiento de la balsa para la altura de llenado definida en la misma fila en la columna correspondiente.

AVII.3.4. TABLA BOMBAS.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- Nodo inicial. Identificativo del *Nodo* inicial.
- Nodo final. Identificativo del *Nodo* final.
- Diámetro. Diámetro de la brida de aspiración (m).
- A. Constante A de la ecuación de comportamiento de la bomba $H(Q) = A \cdot Q^2 + B \cdot Q + C$ (A ha de ser menor que cero; Q en m^3/s ; H en m).
- **B.** Constante *B* de la ecuación de comportamiento de la bomba $H(Q) = A \cdot Q^2 + B \cdot Q + C$ (*B* ha de ser menor o igual que cero; *Q* en m^3/s ; *H* en *m*).
- C. Constante *B* de la ecuación de comportamiento de la bomba $H(Q) = A \cdot Q^2 + B \cdot Q + C$ (*C* ha de ser mayor que cero; *Q* en m^3/s ; *H* en *m*).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- **Caudal.** Valor de caudal procedente de la simulación hidráulica (m³/s).

- Velocidad. Valor de velocidad procedente de la simulación hidráulica de la red (m/s).
- PérdidaCarga. Valor de pérdida de carga procedente de la simulación hidráulica (m).
- Coefnpsh1. Coeficiente independiente de la curva parabólica que modela el NSPH.
- Coefnpsh2. Coeficiente lineal de la curva parabólica que modela el *NSPH*.
- Coefnpsh3. Coeficiente cuadrático de la curva parabólica que modela el *NSPH*.
- Coefrend1. Coeficiente independiente de la curva parabólica que modela el Rendimiento.
- Coefrend2. Coeficiente lineal de la curva parabólica que modela el *Rendimiento*.
- **Coefrend3.** Coeficiente cuadrático de la curva parabólica que modela el *Rendimiento.*
- Coefpot1. Coeficiente independiente de la curva parabólica que modela la *Potencia*.
- Coefpot2. Coeficiente lineal de la curva parabólica que modela la *Potencia*.
- Coefpot3. Coeficiente cuadrático de la curva parabólica que modela la *Potencia*.
- **Rpm1.** Velocidad angular de la bomba.
- **Maxgraf.** Raíz positiva de la ecuación parabólica que ajusta la altura impulsada de la bomba respecto al caudal.

AVII.3.5. TABLA BOMBASPLINES.

La tabla recoge los datos de definición de las curvas características de las bombas.

- **IB.** *Identificativo Bomba*. Número correlativo asignado a cada bomba en función de su ordenación, según se recoge en la tabla anterior (tabla *Bombas*).
- **Q.** *Caudal.* (m^3/s) .
- ◆ **H.** *Altura*. (m).
- **P.** *Potencia*. (kW).
- ◆ **R.** *Rendimiento*. (%).
- **NPSH.** NPSH requerido (m).

AVII.3.6. TABLA TUBERÍAS.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- Nodo inicial. Identificativo del *Nodo* inicial.
- Nodo final. Identificativo del *Nodo* final.
- Longitud. Longitud de la *Tubería* (m).
- Diámetro interior. Diámetro Interior (m).
- Diámetro nominal. Diámetro Nonimal (m; -1 si no se dispone)
- Fabricante. Nombre del Fabricante de la *Tubería* ("<Ninguno>" si no se dispone).
- Material. *Material* de la *Tubería*("<Ninguno>" si no se dispone).
- Timbraje. *Timbraje* de la *Tubería* ("<Ninguno>" si no se dispone).
- **Rugosidad.** Rugosidad interna de la *Tubería* (las unidades dependen de la formulación de pérdidas).
- Cerrado. Valor que indica si la *Tubería* está cerrada (1) o abierta (0).
- ValvAntirretorno. Valor que indica la existencia de una válvula antirretorno (1: existe; 0: no existe).
- **TipoVálvula.** Tipo de válvula presente en la *Tubería* (opciones: "<Ninguna>", "Asiento", "Bola", "Compuerta" y "Mariposa").
- **PorcentajeCierre.** Porcentaje de cierre de la válvula especificada en el campo *TipoVálvula* (ha de ser menor que 100).
- **KsVálvula.** Coeficiente Ks asociado a la válvula especificada en el campo *TipoVálvula* con el porcentaje de cierre especificado en el campo *PorcentajeCierre*. Corresponde al coeficiente de la expresión de pérdidas $H(Q) = K_s \cdot Q^2$.
- NumAccesorios. Número total de accesorios asociados a la *Tubería*. El tipo y las características de los accesorios se especifican en la tabla *Accesorios*.
- NumPérdidas. Número total de pérdidas asociadas a la *Tubería*. El tipo y las características de las pérdidas se especifican en la tabla *Pérdidas*.
- ◆ GrupoDiseñoInverso. Valor que indica la pertenencia de la *Tubería* a *Grupos* de *de Tuberías Libres* (0: no pertenece; n: pertenece al grupo n de diámetro desconocido; n: pertenece al grupo n de *Rugosidad* desconocida).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).

- **CaudalCalc.** Valor de caudal procedente de la simulación hidráulica (m³/s).
- Velocidad. Valor de velocidad procedente de la simulación hidráulica de la red (m/s).
- PérdidaCarga. Valor de pérdida de carga procedente de la simulación hidráulica (m).
- NumeroPuntos. Número de vértices intermedios en la *Tubería*.
- **CaudalDiseño.** Caudal de diseño asignado al *Elemento* (m³/s).
- Celeridad. Celeridad de la *Tubería* (m/s) ("0" si no se dispone).

AVII.3.7. TABLA CONSUMO CONOCIDO.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- X. Coordenada X respecto al origen (metros).
- Y. Coordenada Y respecto al origen (metros).
- Cota. Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- **Dotación.** Valor de la dotación de caudal (m³/s).
- **Demanda.** Valor de la demanda real de caudal (m³/s; ha de ser menor o igual que el valor del campo *Dotación*). Cuando la demanda es nula, el *Nodo* está cerrado.
- **DemandaAnterior.** Valor de la demanda de caudal cuando se abra un *Nodo* de consumo que está cerrado (m³/s).
- SuperfRegada. Área que ocupa la parcela abastecida por el hidrante (ha).
- **CaudalFicticio.** Caudal ficticio continuo suponiendo una aportación ininterrumpida de caudal a la parcela a lo largo de todo el día (litros/(s·ha)).
- **Rendimiento.** Rendimiento operativo. Cociente entre las duraciones teórica y real de la campaña de riego (entre 0 y 1; adimensional).
- GradosLibertad. Inverso de la probabilidad de que el hidrante está abierto.
- **TipoSorteo.** Valor que indica el tipo de dato que caracteriza al hidrante (0: dotación; 1: grado de libertad).
- **TipoProb.** Valor que indica el estado del hidrante (1: abierto incondicionalmente; 1 cerrado incondicionalmente; 0: sometible a generacion de escenario aleatorio).
- **Probabilidad.** Probabilidad de apertura del hidrante.

- **Regulación.** Valor que indica la existencia de un regulador de presión en el hidrante (0: no existe; 1: existe).
- PresiónConsigna. Presión de consigna del regulador de presión (m).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- AltPiezCalc. Valor de altura piezométrica procedente de la simulación hidráulica (m).
- Diámetro. Diámetro del hidrante en pulgadas ("vacío" si no se dispone).
- Turno. Número del turno de riego asignado al hidrante ("0" si no se dispone).

AVII.3.8. TABLA DETALLEPOLITUBOS.

- IdTramo. Número identificativo del vértice intermedio.
- IdTubo. Identificativo alfanumérico de la *Tubería* a la que pertenece el vértice.
- X. Coordenada X del vértice.
- Y. Coordenada Y del vértice.
- Z. Coordenada Z del vértice.

AVII.3.9. TABLA DOBLE CONDICIÓN.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- X. Coordenada X respecto al origen (metros).
- Y. Coordenada Y respecto al origen (metros).
- Cota. Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- **Dotación.** Valor de la dotación de caudal (m³/s).
- **Demanda.** Valor de la demanda real de caudal (m³/s; ha de ser menor o igual que el valor del campo *Dotación*).
- Altura de Presión. Valor de la presión en el *Nodo* (m).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).

AVII.3.10. TABLA ELESK.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- Nodo inicial. Identificativo del *Nodo* inicial.
- Nodo final. Identificativo del *Nodo* final.
- **Tipo.** Tipo de *Elemento Sin Característica Pasiva* (1: K_s desconocida; 2: diámetro desconocido; 3: longitud desconocida; 4: *Rugosidad* desconocida).
- Diámetro. Diámetro Interior (m).
- Longitud. Longitud del *Elemento Sin Característica Pasiva* (m).
- **Rugosidad.** Rugosidad interna del *Elemento Sin Característica Pasiva* (las unidades dependen de la formulación de pérdidas).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- **Caudal.** Valor de caudal procedente de la simulación hidráulica (m³/s).
- Velocidad. Valor de velocidad procedente de la simulación hidráulica de la red (m/s).
- PérdidaCarga. Valor de pérdida de carga procedente de la simulación hidráulica (m).
- Estado. Valor procedente de la simulación hidráulica que indica si el *Elemento Sin Característica Pasiva* actúa como *Elemento* activo (1) o pasivo (0).

AVII.3.11. TABLA EMBALSES.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- X. Coordenada X respecto al origen (metros).
- Y. Coordenada Y respecto al origen (metros).
- Lámina. Cota de la lámina libre de agua respecto a una referencia común de alturas (metros).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ConsumoCalc. Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m³/s).

AVII.3.12. TABLA EMISORES.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- X. Coordenada X respecto al origen (metros).
- Y. Coordenada Y respecto al origen (metros).
- Cota. Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- Fab Emisor. Nombre del Fabricante del emisor (en blanco si no se dispone).
- **Tipo Emisor.** Modelo del emisor (en blanco si no se dispone).
- Ks Emisor. Coeficiente Ks de la expresión de pérdidas del emisor $H(Q) = K_s \cdot Q^N$.
- **N Emisor.** Coeficiente N de la expresión de pérdidas del emisor $H(Q) = K_s \cdot Q^N$.
- Nodo Origen. Identificativo del *Nodo* del cual parte el emisor.
- Longitud. Longitud de la *Tubería* asociada al emisor (m).
- Diámetro Nominal. *Diámetro Nonimal* de la *Tubería* asociada al emisor (m; -1 si no se dispone).
- Diámetro Interior. Diámetro Interior de la Tubería asociada al emisor(m).
- **Fab Tubo.** Nombre del Fabricante de la *Tubería* asociada al emisor ("<Ninguno>" si no se dispone).
- Material Tubo. *Material* de la *Tubería* asociada al emisor ("<Ninguno>" si no se dispone).
- **Timbraje Tubo.** *Timbraje* de la *Tubería* asociada al emisor ("<Ninguno>" si no se dispone).
- **Rugosidad Tubo.** Rugosidad interna de la *Tubería* asociada al emisor (las unidades dependen de la formulación de pérdidas).
- Cerrado. Valor que indica si la *Tubería* asociada al emisor está cerrada (1) o abierta (0).
- Valv Antirretorno. Valor que indica la existencia de una válvula antirretorno (1: existe; 0: no existe).
- **Tipo Válvula.** Tipo de válvula presente en la *Tubería* asociada al emisor (opciones: "<Ninguna>", "Asiento", "Bola", "Compuerta" y "Mariposa").
- **Porcentaje Cierre.** Porcentaje de cierre de la válvula especificada en el campo *Tipo Válvula* (ha de ser menor que 100).

- Ks Válvula. *Coeficiente Ks* asociado a la válvula especificada en el campo *Tipo Válvula* con el porcentaje de cierre especificado en el campo *Porcentaje Cierre*. Corresponde al coeficiente de la expresión de pérdidas $H(Q)=K_s \cdot Q^2$.
- Num Accesorios. Número total de accesorios en la *Tubería* asociada al emisor. El tipo y las características de los accesorios se especifican en la tabla *Accesorios*.
- Num Pérdidas. Número total de pérdidas en la *Tubería* asociada al emisor. El tipo y las características de las pérdidas se especifican en la tabla *Pérdidas*.
- **Caudal.** Valor de caudal procedente de la simulación hidráulica (m³/s).
- Velocidad. Valor de velocidad procedente de la simulación hidráulica de la red (m/s).
- Pérdida Carga. Valor de pérdida de carga procedente de la simulación hidráulica (m).
- Consumo Calc. Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m³/s).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- Turno. Número del turno de riego asignado al emisor ("0" si no se dispone).
- **QNominal.** Caudal nominal en l/s ("0" si no se dispone).
- ♦ Aspersor.

AVII.3.13. TABLA HIDRANTES.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- X. Coordenada X respecto al origen (metros).
- Y. Coordenada Y respecto al origen (metros).
- Cota. Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- **Dotación.** Valor de la dotación de caudal (m³/s).
- **Demanda.** Valor de la demanda real de caudal (m³/s; ha de ser menor o igual que el valor del campo *Dotación*). Cuando la demanda es nula, el *Nodo* está cerrado.
- **DemandaAnterior.** Valor de la demanda de caudal cuando se abra un *Nodo* de consumo que está cerrado (m³/s).
- ÁreaRegada. Área que ocupa la parcela abastecida por el hidrante (ha).

- **CaudalFicticio.** Caudal ficticio continuo suponiendo una aportación ininterrumpida de caudal a la parcela a lo largo de todo el día (litros/(s·ha)).
- **Rendimiento.** Rendimiento operativo. Cociente entre las duraciones teórica y real de la campaña de riego (entre 0 y 1; adimensional).
- GradosLibertad. Inverso de la probabilidad de que el hidrante está abierto.
- **TipoSorteo.** Valor que indica el tipo de dato que caracteriza al hidrante (0: dotación; 1: grado de libertad).
- **TipoProb.** Valor que indica el estado del hidrante (1: abierto incondicionalmente; 1 cerrado incondicionalmente; 0: sometible a generación de escenario aleatorio).
- **Probabilidad.** Probabilidad de apertura del hidrante.
- **Regulación.** Valor que indica la existencia de un regulador de presión en el hidrante (0: no existe; 1: existe).
- **PresiónConsigna.** Presión de consigna del regulador de presión (m).
- Ks. Coeficiente K_s de la ecuación de pérdidas $H(Q) = K_s \cdot Q^2$ correspondiente al hidrante cuando se encuentra completamente abierto (s²/m⁵).
- N. Parámetro N de la ecuación de pérdidas $H(Q) = K_s \cdot Q^N$ de la red de la parcela (adimensional).
- **KsParc.** Parámetro K_s de la ecuación de pérdidas $H(Q) = K_s \cdot Q^N$ de la red de la parcela (s²/m⁵).
- **Comentario.** Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ConsumoCalc. Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m³/s).
- AltPiezCalc. Valor de altura piezométrica procedente de la simulación hidráulica (m).
- Diámetro. Diámetro del hidrante en pulgadas ("vacío" si no se dispone).
- Turno. Número del turno de riego asignado al hidrante ("0" si no se dispone).

AVII.3.14. TABLA NODOS DE UNIÓN.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- X. Coordenada X respecto al origen (metros).

- Y. Coordenada Y respecto al origen (metros).
- Cota. Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ♦ AlturaPiezomCalc. Valor de altura piezométrica procedente de la simulación hidráulica (m).

AVII.3.15. TABLA PÉRDIDAS.

- Num. Número de pérdidas existente.
- Ks. Parámetro Ks de la ecuación de pérdidas $H(Q) = K_s \cdot Q^N$.
- Nexp. Parámetro N de la ecuación de pérdidas $H(Q) = K_s \cdot Q^N$.
- Elemento. Identificativo de la *Tubería* a la que se asocia la pérdida.

AVII.3.16. TABLA PRESIÓN CONOCIDA.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- X. Coordenada X respecto al origen (metros).
- Y. Coordenada Y respecto al origen (metros).
- Cota. Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- AlturaPresión. Valor de la presión en el *Nodo* (m).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ConsumoCalc. Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m³/s).

AVII.3.17. TABLA SIN CONDICIÓN.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- X. Coordenada X respecto al origen (metros).

- Y. Coordenada Y respecto al origen (metros).
- Cota. Cota respecto a una referencia común de alturas (metros).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- ConsumoCalc. Valor de consumo procedente de la simulación hidráulica de la red (m³/s).
- AltPiezCalc. Valor de altura piezométrica procedente de la simulación hidráulica (m).

AVII.3.18. TABLA VÁLVULAS.

- Id. Identificativo alfanumérico (máximo 6 caracteres).
- Nodo inicial. Identificativo del *Nodo* inicial.
- Nodo final. Identificativo del *Nodo* final.
- Tipo. Valor que indica el tipo de válvula (0: reductora de presión; 1: sostenedora de presión; 2: limitadora de caudal)
- Diámetro. Diámetro de la válvula (m).
- Presión consigna. Presión de consigna de las válvulas reductoras y sostenedoras (m).
- **Caudal límite.** Caudal de consigna de la válvula limitadora de caudal (m³/s)
- Ks. Valor del coeficiente *Ks* de la ecuación de pérdidas $H(Q) = K_s \cdot Q^2$ de la válvula cuando se encuentra completamente abierta (s²/m).
- Comentario. Cadena alfanumérica para información adicional (máximo 20 caracteres).
- **Caudal.** Valor de caudal procedente de la simulación hidráulica (m³/s).
- Velocidad. Valor de velocidad procedente de la simulación hidráulica de la red (m/s).
- PérdidaCarga. Valor de pérdida de carga procedente de la simulación hidráulica (m).
- Estado. Estado de la válvula (1: regulando; 2: pasiva; 3: cerrada).

AVII.3.19. TABLA VIS.

- MapXMax. Valor máximo en la coordenada X del mapa en el que se dibuja la red (m).
- MapYMax. Valor máximo en la coordenada Y del mapa en el que se dibuja la red (m).
- Xvis. Valor en la coordenada X de la porción del mapa de visualización de la red (m).
- **Yvis.** Valor en la coordenada Y de la porción del mapa de visualización de la red (m).
- Scr. Porcentaje de visualización del mapa respecto del tamaño máximo del mapa (entre 1% y 100%)
- A. Coordenada Y del mapa respecto al formulario principal (m).
- **B.** Longitud en la coordenada X del mapa (m).
- C. Coordenada X del mapa respecto al formulario principal (m).
- **D.** Longitud en la coordenada X del mapa (m).
- E. Valor del scroll vertical del mapa.
- **G.** Valor del scroll horizontal del mapa.
- **TUBOS.** Denominación de la *Base de Datos* de tuberías asociada a la red.
- XOrigen. Valor de la X en el origen de coordenadas.
- YOrigen. Valor de la Y en el origen de coordenadas.

ANEXO VIII. COMPONENTES OBSOLETOS

La herramienta GESTAR se encuentra en constante proceso de actualización y mejora, de allí que existan modelizaciones que hallan sido perfeccionadas, quedando obsoletos anteriores modelos. Con el fin de que redes generadas desde versiones precedentes puedan ser calculadas, y permitiendo al usuario la selección del tipo de modelo a emplear en su simulación, se mantienen utilizables ambas opciones de cálculo. Desde el menú *Opciones/ Preferencias* (ver pág. 143) se podrá modificar la selección por defecto de los modelados afinados.

Cabe recalcar de nuevo que no pueden existir en una misma red simultáneamente dos tipos de formulación para un mismo componente. GESTAR 2008 detecta automáticamente el tipo de definición contenido en el fichero *.red y la aplicación se abre con la opción correspondiente. Si se desea modificar el tipo de modelización, deberán eliminarse previamente los componentes definidos con otra formulación.

AVIII.1. MODELIZACIÓN ARCAICA NODO BALSA

El *Nodo Balsa* (ver pág. 84) es un *Nodo* de alimentación utilizado para una simulación del comportamiento de la red a lo largo del tiempo (ver *Evolución Temporal*, pág. 69).

Si se desactiva desde el menú *Opciones/ Valores por defecto/ Nodos* la opción Splines del cuadrante *Balsas* (ver FIGURA 6.12, pág. 144), el *nodo Balsa* se asimilará a un depósito troncocónico. Para la realización de la simulación en este caso, serán necesarios los siguientes datos (FIGURA AVIII. 1).
ld. BAL1 Comer	itario
0	
alsa	✓ Datos de la Balsa
Posición	Pendiente
<= (m) 9959 467	75 FRM 75
(m)	Ne Sección (m2)
= (00)19952,12	100
ota Z = (m(m) 0	Niv. Max. Niv. Min. Niv. Inic.
	2 0 1

FIGURA AVIII. 1 Nodo Balsa asimilado a un depósito troncocónico

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

Sólo durante la opción *Evolución Temporal* (pág. 69) se toman en consideración los datos suministrados, en el resto de opciones de cálculo instantáneo el valor que se toma es el **nivel inicial.**

AVIII.2. MODELIZACIÓN ARCAICA ELEMENTO BOMBA

La formulación anterior del *Elemento Bomba* permite un ajuste parabólico único en todo el rango de caudales. Para acceder a este tipo de modelo, desde el menú *Opciones/Preferencias/Elementos* deberá desactivarse la opción *Splines* en el cuadrante *Bombas* (ver FIGURA 6.13, pág. 146). El *Elemento Bomba* será declarado entonces mediante la ecuación polinómica que reproduce su curva característica $H_B(Q)$ (expresada siempre en unidades del *Sistema Internacional*).

El procedimiento de creación de un *Elemento Bomba* 😨 (ver pág. 116) es coincidente con la otra formulación (será necesario hacer un "clic" en el *Nodo* inicial y otro en el *Nodo* final). La ventana que se abrirá automáticamente tendrá la apariencia de

la mostrada en la FIGURA AVIII. 2. El formulario consta de cuatro hojas, a las que se accede haciendo "clic" en la correspondiente pestaña.



FIGURA AVIII. 2 Ventana de definición del Elemento Bomba.

En la parte superior de la ventana se detalla cuál es *Nodo* inicial (aspiración) y final de la bomba (impulsión), pudiéndose permutar con el botón contiguo, y las casillas correspondientes para la introducción o modificación de los siguientes datos:

• Diámetro de aspiración: es el diámetro de la brida de aspiración, y puede corresponder al del *Elemento* Libre anterior. Se utiliza para el cálculo de la velocidad en la brida de aspiración, necesaria para determinar el *NPSHA*.

◆ Identificativo y Comentario.

Desde la pestaña Q-H se introducen los siguientes datos:

• A, B y C: son los coeficientes del polinomio de segundo grado que se ajusta a la curva característica de la bomba suministrada por el fabricante que representa el comportamiento del *Elemento* $H_B(Q)$ de la forma:

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

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

Es posible obtener la ayuda de GESTAR para proceder al ajuste polinómico introduciendo un conjunto de pares de puntos de la curva característica pulsando el botón *Ajustar*. El funcionamiento de la utilidad de ajuste se describe en la pág. 110.

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

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

Todas las pestañas tienen una configuración similar a la pestaña Q-H (FIGURA AVIII. 2). Constan de:

- dos cuadros de texto para dar pares de puntos (al menos tres) con los que se trazará una parábola ajustada por el método de los mínimos cuadrados para la construcción de las distintas curvas características, bien la de rendimiento, potencia o NPSHR.
- una serie de botones para aceptar, borrar o ajustar dichos pares de puntos.
- un espacio reservado a la presentación del gráfico, una vez realizados los pertinentes cálculos.

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

Las otras dos hojas, la del *rendimiento* y la de la *potencia*, están íntimamente relacionadas entre sí. A partir de una de estas curvas (potencia/ rendimiento) y de la curva H-Q de la bomba, la otra (rendimiento/ potencia) quedará totalmente definida. Así, una vez que se dibuje la curva de potencia, automáticamente se dibujará la curva del rendimiento. Y si una vez hecho esto, por cualquier motivo se dibuja una nueva curva de rendimiento, la curva de potencia quedará redibujada, adaptándose a los nuevos datos.

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

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

Para el caso de cálculos con evolución temporal, si una bomba se desborda en un instante dado, el aviso aparece en ese instante. Si se ignora dicha advertencia el programa sigue con su rutina de cálculo, y así para instantes posteriores, en que cambia la configuración de la red de acuerdo con los escenarios especificados, una misma bomba podrá regresar a su funcionamiento normal o volver a desbordarse. Queda claro que esta advertencia es, simplemente, un aviso al usuario de que, quizás, está en una situación de la red diferente a la que esperaba, ya que *GESTAR* entiende que esta circunstancia, en que la altura en la aspiración es mayor que en la impulsión, es anormal.

ANEXO IX. REGULACIÓN DEL BOMBEO

AIX.1. INTRODUCCIÓN

En las redes de distribución en las que es inevitable hacer uso de una estación de bombeo para suministrar la presión requerida, es muy importante adaptar la presión impulsada por la estación a la presión necesaria y demandada a lo largo del suministro, que normalmente es variable a lo largo del tiempo en función del caudal requerido en cabecera. Esto se puede conseguir por medio de una adecuada regulación que incorpore variadores de frecuencia que adapten en cada momento la velocidad angular de las bombas y, de esta forma, reducir la altura impulsada a la estrictamente precisada. De esta manera se consiguen minimizar las pérdidas energéticas, cada vez más importantes como consecuencia del creciente precio de la energía y de la liberalización del mercado energético.

Para una determinada red de distribución a presión se pueden encontrar infinidad de disposiciones de la estación de bombeo, dependiendo del modelo y número de bombas elegidas, y de la regulación incorporada. Tal y como se describió en el capítulo 5, Gestar ofrece una herramienta que analiza, con total generalidad, distintas composiciones de estaciones de bombeo con diferentes tipos de regulación. De esta manera, se pueden comparar y estudiar distintas alternativas de regulación de bombeo para realizar el diseño de redes o bien, estudiar posibles mejoras en estaciones en funcionamiento que supongan un incremento en el rendimiento energético. Por lo tanto, se evalúan, para varios tipos de regulación, parámetros de funcionamiento de la instalación en función del caudal circulante como son las potencias absorbidas, el rendimiento global, las pérdidas energéticas, lo que posteriormente posibilitará en cada variante de regulación calcular los costes por el consumo energético al año y los costes totales del propio sistema.

En el presente anexo se pretende realizar una extensa descripción conceptual de la regulación de las estaciones de bombeo, en general; y de su aplicación y funcionamiento en Gestar, en particular.

AIX.2. TIPOS DE REGULACIÓN

Existen diversos tipos de regulación que, en función de las características de la red y del entorno, se optará por una u otra. Para elegir la que mejor se adapte a las particularidades de la red en cuestión, se pueden simular distintas instalaciones de

bombeo, cada una de ellas incorporando distintas variantes de regulación con iguales o distintos números y tamaños de bombas, y de esta manera, analizar posteriormente los resultados energéticos para elegir la alternativa óptima.

Se pueden instalar dos tipos de bombeo. El **bombeo directo** inyecta el agua desde la estación de bombeo directamente a la red de distribución sin que exista entre ambos órganos ninguna estructura de reserva o regulación. El **bombeo indirecto**, en contra, bombea el agua de forma constante primero al depósito o balsa de regulación a una cota elevada y, sólo después, ésta llegará a la red de distribución por presión natural o pequeños rebombeos aguas abajo de esos órganos de regulación. El último ha sido el tipo más frecuente tanto en sistemas de riego a presión como en redes de suministro urbano.

Dependiendo de las características del terreno será posible colocar un tipo de bombeo u otro, así por ejemplo, las zonas llanas limitan la posibilidad de incorporar *Elementos* de regulación donde no es posible realizar una elevación de terreno para conseguir un depósito que suministre la presión necesaria. En estos casos, se deberá llevar a cabo un bombeo directo por ser el indirecto inviable. En otros casos, y con el actual problema existente con la nueva tarificación y encareciemiento de la energía, se podrá estudiar la opción del bombeo indirecto, ya que permite realizar la impulsión del agua en periodos tarifarios menos caros, y no cuando así lo exija la demanda, tal y como ocurre con el bombeo directo.

Además, cada tipología de bombeo incluye distintas **variantes de regulación**, cada una de ellas viene definida en función de las bombas colocadas, el número de unidades instaladas y activas en cada porcentaje de demanda del sistema, sus operaciones o consignas de arranque y parada según la evolución de la demanda, pero sobretodo según sean bombas de velocidad fija (BVF) o variable (BVV), además de que los tamaños sean iguales o diferentes.

En la Figura Anexo IX. 1 se muestra un esquema de las posibles variantes de regulación que se pueden configurar con cada tipo de bombeo.



Figura Anexo IX. 1. Esquema de variantes de regulación

En el bombeo directo se pueden estudiar varias variantes, que según su tipología, se pueden clasificar en tres: regulación con bombas de velocidad fija, regulación con bombas de velocidad variable y regulación mixta. En el bombeo indirecto la regulación se hace mediante un *Elemento* regulador (balsa, depósito o embalse) y bombas de velocidad fija. En esta descripción de los métodos de regulación sólo se explicará el bombeo directo.

Antes de explicar los procedimientos que sigue cada regulación, se definirá una serie de conceptos que se utilizarán a lo largo de este capítulo y que, por tanto, su conocimiento se hace imprescindible:

- La curva de consigna es la curva del sistema e indica la altura que debe impulsar la estación de bombeo para que a todos los *Nodos* de la red les llegue la presión requerida. Esta curva normalmente es creciente con el caudal demandado y puede ser modelada por medio de una curva exponencial $(H_{min}+K_sQ^2)$.
- ◆ La curva de funcionamiento de las bombas vienen definidas por la altura impulsada, rendimiento y potencia absorbida respecto al caudal trasegado por cada una de ellas y a la velocidad angular nominal.
- ◆ La curva de funcionamiento de la estación de bombeo es la altura impulsada, rendimiento y potencia absorbida por el total de las bombas que componen la estación. Estas curvas serán diferentes dependiendo de la regulación adoptada, así, por ejemplo, si la regulación se hace mediante bombas de velocidad variable, la curva de funcionamiento de la altura de impulsión total coincidirá con la curva de consigna.
- El caudal de corte se define como el punto de corte obtenido al calcular la intersección entre la curva de consigna y la curva de funcionamiento de las bombas, juntas o de forma individual. Se puede decir que, a partir de este caudal, la/s bomba/s en cuestión no pueden suministrar toda la presión requerida en cabecera para satisfacer las necesidades, por lo que en este momento, o incluso un poco antes, debe arrancar la siguiente bomba. Por lo tanto, por medio de estos caudales de corte se podrá estimar el punto de arranque de las bombas.

AIX.3. BOMBEO DIRECTO. REGULACIÓN BVF

En sistemas de riego y redes urbanas, usualmente se emplea la regulación con Bombas de Velocidad Fija (regulación BVF), especialmente en los bombeos indirectos mediante balsa y depósitos de regulación construidos aguas abajo a una cota piezométrica superior a la de la propia estación de bombeo.

En esta segunda variante de regulación (BVF) que se analiza, se va estudiar el comportamiento energético de un conjunto hidráulico genérico en un sistema de riego a presión en el que se aplica el bombeo directo a red de distribución pero regulando la estación escalonadamente mediante BVF.

Este tipo de regulación se aplica a estaciones de bombeo formadas sólo por bombas de velocidad fija. El objeto de esta regulación, por tanto, reside en arrancar secuencialmente las distintas bombas conforme el caudal demandado va aumentando. De esta manera, cuando la demanda sea baja, actuará una bomba en solitario hasta que el caudal demandado aumente hasta alcanzar el caudal de arranque de la siguiente bomba. Normalmente este caudal es cercano al caudal de corte de la curva de funcionamiento de la estación de bombeo con la curva de consigna. Una vez que las dos bombas se encuentran en funcionamiento, se puede calcular el siguiente punto de arranque mediante la obtención del punto de cruce entre la curva de consigna y la curva de funcionamiento relativa a las dos bombas actuantes en pararelo. En la Figura Anexo IX. 2 se muestran gráficamente los distintos puntos de corte, a partir de los cuales debe arrancar la siguiente bomba secuencialmente.



Figura Anexo IX. 2. Caudales de corte

Con este tipo de regulación se desaprovecha gran cantidad de energía puesto que, en todo momento, la estación de bombeo está impulsando más altura de la necesaria. En la Figura Anexo IX. 3 se puede comprobar el gasto energético producido en una estación formada por cinco bombas de velocidad fija, donde las pérdidas mencionadas están marcadas por la zona rayada. Para elimininar este gasto extra de energía se puede recurrir a otro tipo de regulación, como por ejemplo, la regulación que hace uso de variadores de frecuencia, tal y como se comenta en el siguiente subapartado.



Figura Anexo IX. 3. Pérdidas energéticas en regulación BVF

Como ya se ha afirmado, esta es la variante de regulación más tradicional y muy fácil de encontrar en varios tipos de sistemas. La regulación es escalonada y puede ser, caudalimétrica, piezométrica o ambas.

Aquí, las bombas entran o salen en servicio en función de la demanda (Figura Anexo IX. 3), y lo harán en base a consignas de caudales de corte. Los rasgos que caracterizan esta regulación se pueden resumir en:

- Las bombas constituyentes de estas estaciones de bombeo deben funcionar en todo momento a su velocidad nominal, por lo tanto, no existirá ningún mecanismo de variación de la velocidad de rotación, con lo cual, la variación de la curva de potencia se hará en base a ciertas consignas de arranque y parada de cada una de las unidades de bombeo.
- Las unidades de bombeo instaladas en la estación de bombeo con este tipo de regulación puede ser idénticas en cuanto a sus características técnicas o en contra, puede ser de distintos tamaños, características y capacidades de bombeo.
- La regulación que se llevará a cabo para adecuarse a las condiciones necesarias será establecer consignas de arranque y parada, en base al caudal requerido o en base a la altura necesaria en la cabecera.

AIX.3.1. CONFIGURACIÓN EN GESTAR DE ESTACIONES CON REGULACIÓN BVF

Este tipo de regulación puede configurarse de forma sencilla en Gestar gracias al módulo de "Costes energéticos". Esta herramienta permite calcular las curvas de

funcionamiento de la estación a analizar, que luego será de gran utilidad para calcular la energía absorbida a lo largo del periodo de tiempo especificado. Entre estas curvas podemos encontrar la altura impulsada por el bombeo, la potencia absorbida y el rendimiento energético respecto el caudal demandado en cabecera, entre otras.

En este módulo se pueden incluir todo tipo de bombas de velocidad fija, ya sean iguales o distintas, y sin limitación del número de bombas incorporadas.

Una vez cargadas las bombas que se desean, ya sea manualmente, introduciendo los puntos más descriptivos de las curvas de altura, potencia y rendimiento; o por medio de las bases de datos que ofrece la aplicación informática; se calculan los caudales de corte de las curvas de la altura de impulsión de las bombas con la curva de consigna de la red a estudiar y a partir de esos caudales de corte se propone una secuencia de arranque de dichas unidades, la cual es opcional y puede ser modificada por el usuario según las preferencias que se requieran.

Para explicar el mecanismo interno que utiliza Gestar para calcular la secuencia propuesta se va a hacer uso de un ejemplo constituido por dos bombas de velocidad fija distintas. Las curvas características de cada una de ellas se muestran en la Figura Anexo IX. 4 yFigura Anexo IX. 5.



Figura Anexo IX. 4. Curvas características de la bomba-1



Figura Anexo IX. 5. Curvas características de la bomba-2

En la Figura Anexo IX. 6 se puede observar la ventana completa referente a la configuración de la estación de bombeo. En la parte izquierda se muestra la zona correspondiente a la introducción de los datos relativos a las bombas de velocidad fija, y en la parte derecha, la introducción de los datos relacionados con las bombas de velocidad variable. En la parte inferior se indica la secuencia de las bombas de VF, en la que las bombas son ordenadas en función de sus caudales de corte, de menor a mayor. En el caso mostrado, la bomba-1 posee un caudal de corte $(0.068 \text{ m}^3/s)$ inferior al caudal de corte de la bomba-2 $(0.077 \text{ m}^3/s)$, es por ello que la bomba-1 aparece en primer lugar.

También se representa la secuencia propuesta por la aplicación de arranque de las bombas de VF con ayuda de una tabla. En esta tabla, las filas identifican las distintas bombas y las columnas son los diferentes estados, o lo que es lo mismo, los puntos en los que arranca secuencialmente la siguiente unidad.

Datos de la estació	in				
BOMBAS DE VELO	CIDAD FI	JA			BOMBAS DE VELOCIDAD VARIABLE
rpm	>>		< 🔜	Base de datos	rpm 2 >>> 2 >>> Base de datos
Q m3/s	Hm	P Kw	Rend %	12	Q m3/s H m P Kw Rend %
				-	
	Acep	tar (Cancelar		Aceptar Cancelar
Bomba/Estado	1	2	3	ſ	Secuencia Bombas Fijas Bomba Q corte Bomba Q corte
BF - 1	1	0	1		
BF • Z Caudal de corte	0.0681	1	1		2 0,078
% rpm	0,0001	0,0777	0,1307		
Bomba variable					
					Calcular caudales de corte Gráficas Q-P/Q-R Editar Secuencias
					Cálculo Secuencia óptima para un caudal determinado
					Caudal (m3/s): 0.078 Calcular secuencia óptima
					bomba fija-1, bomba fija-2,
					Acentar Cancel

Figura Anexo IX. 6. Ventana de configuración de estaciones de bombeo con BVF

El fundamento en el que se basa el motor de cálculo para proponer una u otra secuencia reside en ordenar las bombas de menor a mayor caudal de corte; primero, de una en una; segundo, de dos en dos, y así hasta el total de bombas. De esta forma, la secuencia calculada por Gestar está compuesta por tres estados. En el primero de ellos, la bomba actuante es la bomba-1, ya que aparece un uno en su fila correspondiente y cero en el resto de las bombas, las cuales no están en funcionamiento. La bomba-1 estará en funcionamiento hasta el caudal de corte (0.068 m^3/s), a partir del cual esta bomba se parará y, en su lugar, arrancará la bomba-2 hasta su caudal de corte (0.077 m^3/s). En el tercer y último estado, ambas bombas estarán trabajando. El último caudal de corte (0.13 m^3/s) tiene un valor fundamentalmente informativo, ya que no va a determinar el arranque de ninguna parada, sino que indica a partir de qué punto la estación de bombeo no es capaz de suministrar la presión necesaria en la red.

Con esta secuencia propuesta por Gestar se tiene una secuencia lógica que nos informa del punto exacto a partir del cual la bomba actuante no es capaz de suministrar la altura requerida, y por lo tanto, debe arrancar una nueva bomba.

La explicación de por qué se ordenan las bombas de menor a mayor, y por consiguiente, el por qué de esa secuencia, reside en que supuestamente las bombas menores también tendrán menor gasto energético y, por consiguiente, menor desperdicio. Aunque esto no tiene por qué cumplirse necesariamente, ya que la curva de potencia absorbida puede ser mayor en la bomba de menor caudal de corte y, por lo tanto, las bombas no estarían seleccionadas de forma idónea para reducir al máximo la energía desaprovechada.

Para comprobar los resultados calculados y las curvas de potencia absorbida y rendimiento de la estación según la secuencia especificada se puede recurrir a las gráficas que devuelve la aplicación. Para el ejemplo analizado, estas gráficas se pueden observar en la Figura Anexo IX. 7, donde se deduce que cada pico pronunciado en las curvas definen un nuevo estado, o lo que es lo mismo, el arranque de una nueva bomba. Para esta secuencia, la energía consumida que se ha calculado ronda los 97.160 kWh.



Figura Anexo IX. 7. Curvas de funcionamiento de la estación de bombeo ejemplo.

Como se ha descrito, Gestar propone una secuencia de arranque según los criterios comentados, pero como hay multitud de formas de configurar una secuencia de bombeo (caudales de arranque, número de estados, etc.) se ha provisto dicha herramienta de un editor de secuencias que permite su modificación y, adición o eliminación de estados. De esta manera, se consigue una aplicación que permite simular y analizar todo tipo de alternativas de bombeo para realizar una toma de decisión totalmente precisa y de absolutamente fiable.

Para comprobar si existe alguna secuencia que optimice el gasto energético en mayor medida se puede editar la secuencia propuesta y modificar los distintos estados y calcular la energía consumida para observar el incremento o disminución de energía respecto a la primera. Así por ejemplo, se puede jugar con los estados y eliminando el segundo estado se obtendría la gráfica representada por la Figura Anexo IX. 8. Con esta secuencia, el gasto energético se encontraría en torno a los 99.000 kWh, un poco superior al consumo que se obtuvo con la secuencia propuesta.



Figura Anexo IX. 8. Curvas de funcionamiento eliminando el estado 1.

El módulo de "*Costes energéticos*" ofrece también la posibilidad de calcular la secuencia óptima para un caudal determinado y dados los datos introducidos de la estación de bombeo. De esta manera, se puede determinar el caudal de corte que optimice el gasto energético, entre otros.

Si comprobamos la eficacia de la secuencia propuesta con esta herramienta, obtendremos que, en este caso, la secuencia propuesta es la secuencia óptima, ya que los caudales de corte coinciden con los de arranque tal y como se puede extraer de la Figura Anexo IX. 6.

AIX.4. BOMBEO DIRECTO. REGULACIÓN BVV

La implementación de la variante de regulación con todas bombas de velocidad variable (BVV) se ha llevado a cabo, sobre todo, con finalidades de experimentación y análisis teórico dentro de las posibilidades asociadas al tema de la regulación del bombeo y optimización del consumo energético en sistemas de riego a presión u otros. En la práctica esta clase de regulación no es frecuente, dado el coste de los equipos de regulación, ni siquiera aplicable estrictamente en todo el rango de caudales, dados los bajos rendimientos que acarrea de la zona de caudales reducidos. No obstante, esta variante puede también configurarse en Gestar, aunque hay que señalar que cuando el número de bombas de VV es superior a dos, la secuencia debe ser introducida por el

usuario desde el principio, ya que la única restricción que adopta el cálculo de la secuencia propuesta es ésa.

Por tanto esta variante de regulación consiste en que sobre todas y cada una de bombas instaladas y en todo el rango de caudales requeridos de la curva de consigna, actuará permanentemente un variador de velocidad de forma simultanea.

Con este tipo de configuración se consigue que la altura impulsada por la estación a lo largo del total rango de caudales demandado sea igual a la altura requerida por la red, por consiguiente, se aprovecha con mayor eficiencia la energía consumida a como se hacía con la regulación con BVF, y por tanto, la energía absorbida será inferior también.

La secuencia de arranque de las distintas bombas de VV será semejante a la vista en el anterior subapartado. Es decir, para caudales pequeños actuará sólo una bomba. Esta situación persistirá hasta que el caudal demandado en cabecera sea superior al caudal de corte (o arranque) de la curva de funcionamiento de la bomba de VV a su velocidad nominal con la curva del sistema. En ese instante, la bomba en funcionamiento dará paso a la siguiente bomba de VV hasta su caudal de corte. A partir de ese caudal, actuarían ambas bombas hasta el caudal de corte de la curva de funcionamiento de la suma de las dos bombas con la curva de consigna, y así sucesivamente, si la estación de bombeo estuviera compuesta por más de dos bombas.

Para explicar de forma detallada el funcionamiento de este tipo de variante se va a hacer uso del mismo ejemplo utilizado en la regulación con BVF, pero, en este caso, a ambas bombas se les acoplará un variador de frecuencia.

AIX.4.1. CONFIGURACIÓN EN GESTAR DE ESTACIONES CON REGULACIÓN BVV

Este tipo de configuración puede incluirse fácilmente en el módulo de "Costes energéticos". En este caso de regulación BVV se tendrán sólo bombas de velocidad variable, por lo que habrá que incorporar sus datos en la tabla que hace referencia a este tipo de bombas. Tal y como se explicó en la regulación BVF, los datos de las bombas de velocidad pueden añadirse manualmente o a partir de las bases de datos correspondientes a algunos fabricantes de bombas.

🔁 Datos de la estación	x
BOMBAS DE VELOCIDAD FIJA	BOMBAS DE VELOCIDAD VARIABLE Goment: Funcionamiento secuencial
rpm >>> P × P Base de datos	Funcionamiento simultáneo rpm % Qm3/s H m P Kw Rend % 2 1
Aceptar	Acsptar
Bomba/Estado 1 2 3 BV - 1 1 0 1 BV - 2 0 1 1 Caudal de corte 0,0681 0,0777 0,1307 % rpm 100,000 100,000 100,000 Bomba variable 1 2 1	Secuencia Bombas Fijas Bomba Q corte Bomba Q corte 1 2 0,068 0,078
	Calcular caudales de corte Gráficas Q-P/Q-R Editar Secuencias
	Caudal (m3/s) 0.078 Calcular secuencia óptima bomba variable-1, bomba variable-2, Potencia del grupo elevador = 41,99 Las dos bombas trabajan a las mismas rpm
	Aceptar Cancelar

Figura Anexo IX. 9. Ventana de configuración de estaciones de bombeo con BVV.

Como se observa en la Figura Anexo IX. 9, los datos necesarios para realizar los cálculos energéticos de las bombas de VV difieren ligeramente de los datos correspondientes a las bombas de VF. Entre estas diferencias hay que destacar los datos necesarios que hacen referencia a la velocidad angular nominal de las BVV y el porcentaje de la velocidad angular nominal que indica la velocidad máxima que soporta dicha bomba. Por lo tanto, este porcentaje marcará una transición en la secuencia de arranque ya que, a partir de ese punto, la bomba de VV no podrá suministrar la presión necesaria en cabecera.

Otra característica destacable es la opción que permite analizar un funcionamiento secuencial o simultánteo. Este tipo de opción sólo se considera cuando la configuración tiene dos bombas de VV y cuando nos encontramos en los estados de la secuencia de arranque que tiene las dos bombas de VV funcionando.

El *funcionamiento secuencial* considera una bomba de VV como si fuera de velocidad fija trabajando a sus revoluciones máximas y la otra bomba de VV es la que adapta su velocidad angular en cada momento para suministrar la presión requerida. Por lo tanto, el estado en el que ambas bombas están en funcionamiento es similar a la situación en que la bomba que mantiene sus rqm constantes fuera de velocidad fija y la otra bomba fuera de velocidad variable.

La secuencia que ofrece la aplicación informática se basa, al igual a como se explicó en la regulación BVF, en los caudales de corte. Así, la primera BVV que actuará será la de menor caudal de corte, en segundo lugar actuará la siguiente BVV, y en tercer lugar, actuarán ambas bombas. En este último estado, la bomba que mantendrá sus revoluciones constantes será la de mayor caudal de corte, siendo esta opción modificable, al igual que la propia secuencia.



Figura Anexo IX. 10. Curvas de funcionamiento Regulación BVV con funcionamiento secuencial

Para el ejemplo dado, las gráficas de funcionamiento obtenidas se representan en la Figura Anexo IX. 10. Con esta regulación se obtiene un gasto energético de 83.081 kWh, muy más inferior al consumo que se obtenía con la regulación BVF (99.000 kWh).

El *funcionamiento simultáneo*, al igual que el secuencial, se tendrá en cuenta cuando haya dos bombas de VV y ambas estén actuando al mismo tiempo. En esa situación se tendrán dos bombas con un mismo alfa, es decir, un mismo porcentaje de la velocidad angular nominal de cada bomba. Para calcular alfa, la aplicación hace uso del método de Newton-Rapshod para resolver el sistema de ecuaciones obtenido, el cual se basa en que la altura impulsada por ambas bombas es idéntica entre sí y a la altura de la curva de consigna correspondiente al caudal en cabecera a analizar, y que el caudal de cada bomba suma el caudal total en cabecera.

El sistema de ecuaciones propuesto parte de la modelización de las curvas de la altura impulsada por las bombas respecto el caudal trasegado por ellas mismas. Esta

modelización se ha realizado mediante splines, o lo que es lo mismo, mediante polinomios de tercer grado para cada rango situado entre dos caudales consecutivos.

Cuando las bombas de VV adaptan sus revoluciones para impulsar en cada momento la altura demandada, la curva de funcionamiento se modifica conforme las revoluciones de la bomba disminuyen.

Finalmente, se añadirían dos últimas ecuaciones al sistema propuesto, ya que para un punto dado (H_i, Q_i) y conocido, las alturas son iguales entre sí y el caudal de cada bomba suman el total.

Este sistema de ecuaciones se puede resolver iterando por medio del método de Newton-Raphsod, donde las incógnitas que interesa calcular son alfa (α) y los caudales trasegados respectivamente por ambas bombas.

Para el ejemplo analizado en este apartado con los distintos tipos de regulación, pero aplicando en este caso un funcionamiento simultáneo, se obtienen una curva de rendimiento energético más plana y ligeramente superior a la que se obtenía con el funcionamiento secuencial, tal y como se extrae de la Figura Anexo IX. 11.



Figura Anexo IX. 11. Curvas de funcionamiento Regulación BVV con funcionamiento simultáneo

Con este funcionamiento simultáneo se consiguen mejores resultados energéticos, ya que en este caso el consumo energético se encuentra en 79.789 kWh frente a los 83.081 kWh que se obtenían con el funcionamiento secuencial. La explicación a este ahorro estriba en que el rendimiento de la estación cuando ambas bombas están en pleno funcionamiento se ve mejorado ya que para caudales pequeños ambas bombas están trabajando con variador, y por lo tanto, no hay puntos en los que las bombas tengan que disminuir en gran medida su velocidad angular, lo que ocasiona en muchas situaciones valores de rendimiento muy por debajo del deseado.

AIX.5. BOMBEO DIRECTO. REGULACIÓN MIXTA

En la variante de regulación mixta, regulación más usada en instalaciones con bombeo directo, se pueden encontrar distintas configuraciones según el número de bombas de velocidad fija y variable, según sean las bombas de igual tamaño, con bombas de distinto tamaño, con solapamiento y sin él.

En este apartado se describen dos casos de regulación mixta representativos que reflejan los aspectos más característicos de las distintas variantes que se pueden encontrar. En primer lugar se detalla una regulación con bombas de VF y VV de igual tamaño y solapamiento; y en segundo lugar, una regulación con bombas de VF y VV distintas; que consisten en lo siguiente:

En la variante mixta con solapamiento se regula con unidades de igual tamaño actuando periódicamente sobre una de ellas el variador de frecuencia, el cual es simulado en el modelo mediante el parámetro de conversión de la velocidad de rotación (α). El variador de frecuencia actuará sobre una unidad de bombeo la cual será la responsable de la regulación en la instalación retrasando el arranque de nuevas unidades en un margen de ±10% de su caudal de diseño o caudal de corte.

A partir de ese punto la BVV dejará de regular y arrancará la primera bomba de velocidad fija una unidad normal de velocidad fija (BVF) al 100% de su capacidad nominal de bombeo. A partir de ese punto y hasta el siguiente punto de corte, actuará la BVF y la BVV. Si la demanda va en aumento se activarán sucesivamente en ese mismo orden el resto de las unidades de bombeo instaladas.

En la Figura Anexo IX. 12 se muestran las curvas de funcionamiento de una estación de bombeo compuesta por tres bombas de igual tamaño, dos de ellas de velocidad fija y una, de velocidad variable. En este caso, el variador de frecuencia llega hasta el 100% y los distintos puntos de arranque de las sucesivas bombas de VF vienen reflejados por los picos en las curvas de potencia absorbida y de rendimiento. En esta variante se ha obtenido un consumo energético de *80.2091* kWh.

Gestar ofrece la posibilidad de simular dichas regulaciones con total generalidad. Así, por ejemplo, permite realizar simulaciones con distintos porcentajes de funcionamiento de los variadores respecto al nominal. Este dato se puede introducir como complemento de los datos inherentes de las bombas de velocidad variable, y será fijo entonces para todos los estados que componen la secuencia, es decir, la bomba de velocidad variable actuará hasta el límite marcado en la casilla de porcentaje respecto a la velocidad angular nominal. Otra forma de marcar la velocidad angular máxima a la que trabaja la bomba es indicar en la tabla de la secuencia los diferentes caudales de corte de cada estado, de esta forma se calcula automáticamente la velocidad angular límite que debe soportar la bomba de VV para cada estado. En este último caso, se podrán analizar distintos estados, y para cada uno de ellos, la velocidad máxima a la que trabaja la bomba de velocidad variable será distinta.



Figura Anexo IX. 12. Curvas de funcionamiento Regulación Mixta con bombas iguales

En la Figura Anexo IX. 13 se puede observar una regulación mixta con solapamiento en la que se ha aplicado un incremento del 10% respecto la velocidad nominal de la bomba de velocidad variable. Como se extrae de dicha gráfica, los puntos de corte han aumentado considerablemente y, para este caso, se ha obtenido un aplanamiento de la curva de rendimiento y se ha suavizado la curva de potencia, lo que ha traído como consecuencia un ligero ahorro de la energía consumida (79430 kWh).

Pero, ¿podría mejorarse esta regulación mixta en la que se ha elegido un porcentaje de la velocidad máxima angular constante? La respuesta es sí.

Si por medio de la herramienta, que incorpora Gestar y que calcula la secuencia óptima para cada caudal analizado, estudiamos varios caudales "estratégicos" y cercanos a los caudales de corte anteriores, se puede extraer que los caudales de corte óptimos que marcan el paso de un estado a otro no son los calculados por el motor de cálculo cuando el solapamiento invariable es del 110%. Estos caudales de corte son 0,08 m³/s, 0,135 m³/s y 0,172 m³/s, en los que el porcentaje adoptado en cada uno es de 6.8%, 8% y 10%, respectivamente. Con esta nueva regulación, que se puede ver en la Figura Anexo IX. 14, se obtiene un ligero ahorro, reduciendo el consumo energético a 79.188 kWh.



Figura Anexo IX. 13. Curvas de funcionamiento Regulación Mixta con mismo solapamiento



Figura Anexo IX. 14. Curvas de funcionamiento Regulación Mixta con distinto solapamiento

La variante de regulación mixta con bombas de tamaños diferentes, tal y como su nombre indica, consiste en trabajar con unidades de tamaños diferentes, siendo la de menor tamaño la que cubre las demandas más pequeñas en un rango que puede variar entre el 45-50% de la capacidad máxima de bombeo de la unidad de mayor tamaño. A partir de ese punto el variador de frecuencia (α) conmuta su actuación a la primera bomba de mayor tamaño y así sucesivamente. Por lo tanto, en este tipo de regulación, al menos deben existir dos unidades con variador de frecuencia, las cuales podrán funcionar de forma secuencial o simultánea, tal y como se explicó en anteriores apartados. Para demostrar su funcionamiento y sus posibles configuraciones, se va a hacer uso de un ejemplo formado por tres bombas, dos de ellas de velocidad variable y una, de velocidad fija.

En primer lugar, se va a estudiar el caso en el que la bomba de velocidad fija es idéntica a la bomba de velocidad variable de mayor rango, y ésta, a su vez, es igual a la bomba cuya curva de comportamiento que se mostraba en la Figura Anexo IX. 4. A esta bomba se le va a asignar el sobrenombre de "Bomba-1". Por otro lado, la bomba variable de menor tamaño ("Bomba-3") se va a regir por la curva de comportamiento que se muestra en la Figura Anexo IX. 15.



Figura Anexo IX. 15. Curvas de funcionamiento de la Bomba-3.

Con esta regulación, cuya secuencia de arranque se muestra en la Figura Anexo IX. 16, se obtiene un consumo energético de 75.370 kWh, ligeramente inferior a los consumo de las demás variantes de regulación vistos anteriormente. Con esta configuración, las curvas de potencia absorbida y rendimiento total de la estación de bombeo calculadas se representan en la Figura Anexo IX. 17.

Bomba/Estado	1	2	3	4	5
BF - Bomba-1	0	0	0	1	1
BV - Bomba-3	1	0	1	0	1
BV - Bomba-1	0	1	1	1	1
Caudal de corte	0,0416	0,0681	0,1038	0,1222	0,1469
% rpm	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
Bomba variable	Bomba-3	Bomba-1	Bomba-3	Bomba-1	Bomba-3

Figura Anexo IX. 16. Secuencia de arranque



Figura Anexo IX. 17. Curvas de estación de bombeo de la variante de regulación mixta con bombas de distinto tamaño y funcionamiento secuencial

Si ahora, en vez de tener en cuenta el funcionamiento secuencial de las bombas de velocidad variable, se considera un funcionamiento simultáneo, se obtiene un consumo energético de 74.220 kWh y unas curvas de funcionamiento ligeramente suavizadas, tal y como se muestra en la Figura Anexo IX. 18.



Figura Anexo IX. 18. Curvas de estación de bombeo de la variante de regulación mixta con bombas de distinto tamaño y funcionamiento simultáneo

Los requisitos de presión a suministrar en la estación de de bombeo en los sistemas de regulación convencionales se formulan en términos de la curva de consigna de la estación de bombeo, esto es, el par de valores caudal demandado – presión de salida de la estación de bombeo. La presión de salida en la estación de bombeo, para caudal demandado, se establece como la presión necesaria para suministrar presión suficiente a todos los hidrantes de la red con las siguientes condiciones:

- Que el caudal demandado sea inferior a un máximo admisible, habitualmente el caudal de diseño del sistema, por encima del cual no se puede garantizar satisfacer los requisitos de presión.
- Que los hidrantes abiertos generando demanda se encuentren aleatoriamente distribuidos, de manera que no haya concentraciones singulares de demanda que incrementen las pérdidas de carga locales y en consecuencia no aumenten singularmente los requisitos de presión en cabecera.

El cómputo de P(q) comienza estableciendo la curva de consigna. Ésta depende de las necesidades de presión en los diferentes posibles escenarios para cada posible caudal, es decir, que para una misma demanda de caudal en la red, encontramos diferentes escenarios de apertura/cierre de hidrantes que la producen, y por lo tanto, diferentes necesidades de presión. Esta situación, característica de redes de riego a la demanda, en la que no existen patrones de apertura, hace que para un mismo caudal, exista una "nube" de necesidades de presión. En ocasiones, los requerimientos de presión en cabecera pueden oscilar considerablemente, debido a la existencia de hidrantes más exigentes. El valor de presión necesaria puede variar para un mismo caudal en función de si están abiertos o no estos hidrantes.

Para explorar las diferentes situaciones de necesidades de presión, la metodología que presenta GESTAR, propone generar y simular una serie de escenarios de consumo con diferentes tomas abiertas aleatoriamente barriendo los rangos posibles en cabecera computando la presión manométrica requerida en cabecera para disponer de presión suficiente en el hidrantes crítico de cada escenario.

En la tabla contigua se muestra a modo de ejemplo los escenarios generados, para una apertura de hidrantes del 10% de una red tipo a estudio. Para cada escenario se registra la presión demandada crítica, y el caudal demandado como la suma de las dotaciones de los hidrantes abiertos.

	16	142	95	49	48	146	Q (m3/s)	P demandada crítica
Escenario 1	х	X	Х	X	х	х	0,15999682	65,48
Escenario 2	Х	X	х	X	х	х	0,16000068	60,3
Escenario 3	37,31	Х	Х	64,54	Х	х	0,15998919	64,54
Escenario 4	X	34,15	Х	Х	Х	Х	0,16000491	57,3
Escenario 5	Х	X	Х	Х	Х	х	0,16001245	61,6
Escenario 6	Х	X	Х	X	Х	х	0,1599936	68,19
Escenario 7	37,54	34,18	Х	Х	х	х	0,1599995	62,1
Escenario 8	X	34,15	Х	X	X	X	0,16000953	64,79
Escenario 9	Х	X	47,31	X	X	59,81	0,15999545	68,56
Escenario 10	Х	X	X	X	X	X	0,15998788	59,13
Escenario 11	X	X	X	X	X	X	0,16000131	64,46
Escenario 12	X	X	X	X	X	X	0,1600035	61,14
Escenario 13	X	X	X	X	X	63,4	0,15998723	63,4
Escenario 14	37,37	X	Х	X	Х	X	0,16000061	60,29
Escenario 15	Х	Х	Х	Х	Х	Х	0,16000077	60,37
Escenario 16	Х	Х	Х	Х	Х	х	0,16000022	61,73
Escenario 17	Х	34,14	Х	63,85	х	х	0,16002032	63,85
Escenario 18	Х	Х	47,75	Х	х	х	0,16000745	57,97
Escenario 19	Х	X	Х	Х	62,67	х	0,16000234	65,19
Escenario 20	Х	Х	Х	Х	х	х	0,16000627	61,76
Escenario 21	Х	Х	Х	Х	Х	х	0,15999237	60,11
Escenario 22	Х	34,16	X	64,93	X	х	0,15999983	64,93
Escenario 23	X	X	X	X	X	X	0,16000436	68,85
Escenario 24	X	X	X	X	X	X	0,16000339	59,93
Escenario 25	X	X	X	X	X	X	0,15999079	62,71
Escenario 26	X	X	X	X	X	X	0,15999638	60,12
Escenario 27	X	X	X	X	59,31	X	0,15999997	63,95
Escenario 28	X	34,16	X	X	X	х	0,15999471	59,55
Escenario 29	Х	34,16	Х	X	Х	х	0,15998885	60,68
Escenario 30	х	X	47,34	X	x	59,75	0,15999827	64,95
Escenario 31	Х	34,15	Х	Х	60,8	х	0,16001911	62,75
Escenario 32	Х	X	Х	Х	X	х	0,16000223	68,4
Escenario 33	Х	X	Х	Х	х	х	0,15999734	62,39
Escenario 34	Х	X	Х	X	Х	59,67	0,15999968	68,49
Escenario 35	Х	X	Х	X	X	X	0,16000448	62,11
Escenario 36	Х	X	Х	69,08	64,4	х	0,15999724	69,08
Escenario 37	Х	X	х	X	X	X	0,15999992	59,69
Escenario 38	X	34,15	X	X	X	х	0,16000092	62,03
Escenario 39	X	X	X	X	X	X	0,15999426	59,75
Escenario 40	Х	X	X	X	X	59,57	0,15999621	63,13
Escenario 41	X	X	X	X	X	X	0,16000247	60,77
Escenario 42	X	X	X	X	Х	х	0,159997	62,71
Escenario 43	Х	X	х	X	X	х	0,15999624	62,71
Escenario 44	Х	Х	Х	Х	Х	Х	0,16000322	64,54
Escenario 45	Х	X	Х	Х	х	х	0,16000359	61,42
Escenario 46	Х	Х	Х	Х	Х	х	0,16000076	62,87
Escenario 47	Х	Х	Х	Х	59,17	Х	0,16000265	66,3
Escenario 48	х	X	X	X	x	x	0,16000506	62,25
Escenario 49	х	х	х	х	х	x	0,15999991	61,72
Escenario 50	х	34,15	х	X	х	х	0,16000205	60,28
Escenario 51	X	X	55,26	X	x	x	0,1600053	57,12
Escenario 52	X	X	X	X	x	x	0,15999644	59,93
Escenario 53	X	X	X	X	59,38	x	0,15998818	62,68
Escenario 54	X	X	X	X	x	x	0,1599967	60,23
Escenario 55	х	Х	48,05	х	х	х	0,15999533	59,88
Escenario 56	х	Х	X	X	X	х	0,1600025	59,92
Escenario 57	Х	34,15	Х	Х	х	х	0,16001168	64
Escenario 58	х	х	х	64,17	х	X	0,15998824	64,17
Escenario 59	X	X	х	64,47	X	X	0,15998398	64,47
Escenario 60	X	Х	х	X	X	X	0,16000959	61,73
Escenario 61	X	34,15	х	X	X	X	0,16000055	59,77
Escenario 62	X	X	X	X	X	X	0,15999091	61,27
Escenario 63	X	X	X	X	X	<u>x</u>	0,15999264	66,61
Escenario 64	X	X	X	65,28	X	X	0,16001502	65,28
Escenario 65	X	×	×	X	~	~	0,16	68,49
Escenario 66	X	×	×	A 0.1.07	~	~	0,15999681	63,23
Escenario 67	X 07.07	×	~	64,27	~	~	0,16000272	64,27
Escenario 68	37,37	~	×	×	× ×	~	0,16000019	63,14
Escenario 69	<u>^</u>	<u>^</u>	55,14	~	^	<u>^</u>	0,1599943	67,47
Escenario 70	^	^	<u>^</u>	^	60,15	~	0,16000028	65,33
Escenario 71	^	^	$\hat{\mathbf{v}}$	^	<u>^</u>	~	0,16000344	64,98
Escenario 72	^	^	$\hat{\mathbf{v}}$	^	<u>^</u>	~	0,15999442	59,12
Escenario 73	^	^	$\hat{\mathbf{v}}$	^	<u>^</u>	^ 	0,16000594	59,36
Escenario 74	37,31	^	$\hat{\mathbf{v}}$	^	<u>^</u>	59,25	0,1600024	59,25
Escenario 75	^ V	<u>^</u>	<u>^</u>	<u>^</u>	^ V	<u>^</u>	0,16000783	63,39
Escenario 76	Ŷ	÷	÷	~	Ŷ	A 60.76	0,16000493	59,6
Escendrio //	$\hat{\mathbf{v}}$	$\hat{\mathbf{v}}$	~	~	^ V	59,76	0,16000313	59,88
Escenario 78	<u>^</u>	^ ~	~	^	^ V	^ V	0,15999821	61,09
Escendrio /9	<u>^</u>	^ ~	~	00,28 V	^ V	A	0,15999185	69,4
Escendrio 80	<u>^</u>	^ V	^ EE 40	^ 62.01	^ V	59,98	0,1600025	63,11
Escendrio 81	<u>^</u>	^	55,12	63,84 V	Ŷ	^ V	0,15999617	63,84
Escendrio 82	^ V	34,15	^ V	~	^ V	^ V	0,10000628	59,82
Escendrio 83	~	A 24.45	^ V	A 65 10	A 60 45	^ V	0,160010773	60,69
Escenario 84	^ 27.22	34,15	Ŷ	v v	00,45 V	Ŷ	0,16001835	65,12
Escenario 85	31,32 V	34,15	Ŷ	~	Ŷ	Ŷ	0.15000186	60,41
Escenario 80	$\hat{\mathbf{v}}$	$\hat{\mathbf{v}}$	Ŷ	~	Ŷ	Ŷ	0,1599943	58,94
Esconario 99	Ŷ	24.47	Ŷ	×	Ŷ	Ŷ	0,10001213	05,55
Escendrio 88	Ŷ	34,17	÷	<u>^</u>	Ŷ	÷	0,16001005	65,32
	~	~	~	~	^	~	0,10000946	04,16

FIGURA AX. 1Simulación de escenarios de consumo con 10% apertura (ejemplo de estudio *red de Valdega*)

Para un % de apertura dado, tenemos un conjunto o nube de pares de puntos caudal – presión crítica. Si repetimos esta simulación de escenarios para los diferentes porcentajes de apertura de la red, obtendremos las nubes de puntos de presiones necesarias para cada caudal (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.):

PRESIONES DEMANDADAS EN ESCENARIOS



FIGURA AX. 2Conjunto de presiones necesarias en simulación de escenarios aleatorios para diferentes grados de apertura de hidrantes (*red tipo a estudio*).

Si adoptamos como consigna la envolvente máxima de esos conjuntos de pares, garantizamos que en la totalidad de escenarios posibles, la presión proporcionada será suficiente, y que ningún hidrante trabajará por debajo de su presión de consigna. Establecer la curva de consigna como la envolvente máxima es quizá excesivamente conservador (y contradictorio con los criterios de diseño probabilístico asociados al cómputo de Caudales de Diseño de Clement).

Se observa que para caudales elevados, el requerimiento máximo, se debe a un par caudal-presión alejado del grueso de datos, producido por una situación crítica pero muy poco probable. Si adoptamos este valor como consiga para ese caudal, estaremos suministrando una presión muy por encima de la necesaria en la mayoría de los casos. Esto se traduce en un gasto energético elevado y en un aprovechamiento de la energía muy poco eficiente.

La curva de consigna mínima (envolvente de los requisitos de presión mínimos absolutos para cada % de demanda) es inaceptable por no satisfacer los requisitos de presión en casi ningún escenario de consumo.



FIGURA AX. 3 Curvas de consigna: envolvente máxima, curva eficaz y envolvente mínima

Consideramos la **curva de consigna eficaz o curva de consigna recomendada** (CCR), la que corresponde a un grado de fiabilidad (probabilidad de que el requerimiento de presión no sea excedido) similar y coherente con la garantía de los Caudales de Diseño en cabecera mediante la formulación de Clement.

Para su obtención se toma como valor de requisito de presión en cabecera el valor máximo de las presiones en promedio requeridas en cada hidrante para cada % de demanda.

La curva de consigna eficaz Hc(q), ajustada a una expresión cuadrática es

$$H_{c} = H_{\min} + K \cdot Q^{2}$$

y tiene un grado de fiabilidad equivalente al de la calidad de funcionamiento en cabecera para condición de diseño.

Con el registro de pares de puntos obtenidos en todas las simulaciones, es posible establecer curvas de consigna con grados de fiabilidad cualesquiera.

ANEXO XI. PROPIEDADES Y OBTENCIÓN DE LA FDP CAUDALES

La distribución de los caudales en cabecera en redes a la demanda corresponde a una sucesión de diferentes estados de demanda aleatoria que se modifican con la apertura y cierre de las tomas de riego. Puede en consecuencia, considerase el caudal en cabecera una variable aleatoria continua, cuya *Función de Densidad de Probabilidad* (FDP^1) para un caudal q se define como la esperanza del tiempo relativo de existencia de un caudal comprendido entre q y q + dq:

$$FDP(q) = \left\langle \frac{1}{T} \frac{dt}{dq} \right\rangle = \frac{1}{T} \frac{\left\langle dt(q) \right\rangle}{dq}$$
(AXI.1)

Siendo *T*, en segundos, la duración total de periodo de observación de caudales, y dt el tiempo de presencia de caudales comprendidos entre q y q + dq. Es decir:

$$FDR(q) = \frac{1}{T} \frac{\langle dt \rangle}{dq} = \frac{Tiempo_promedio_de_existencia_de_caudal_comprendiad_entre_q_y_q+dq}{T \cdot dq} = \frac{Frecuencia_relativa_de_caudales_comprendiads_entre_q_y_q+dq}{dq}$$

La frecuencia relativa durante el periodo T de un caudal comprendido entre q y q + dq es:

$$FDP(q) \cdot dq = \frac{\langle dt(q) \rangle}{T}$$
 (AXI.2)

Por tanto las frecuencias relativas clasificadas de cada rango de caudales y la *FDP* están directamente relacionadas, pero no tienen los mismos valores ni dimensiones (las dimensiones de la FDP son s^{-1}/m^3).

En el caso de sistemas de riego, el tiempo T de observación de caudales, contiene solo las horas comprendidas en la *Jornada de Riego*, puesto que las horas en que se ha excluido el riego, no deben contemplarse en el cómputo de frecuencias relativas. Si bien los caudales nulos no tienen repercusión en la *FDP* ya que no generan demanda de volumen ni consumo de energía, para los datos resulten coherentes, la frecuencia relativa de los caudales nulos computa estos cuando se encuentran dentro de la *Jornada de Riego*.

⁵ Utilizada habitualmente en inglés como PDF (*Probability Density Function*).

Por definición, toda FDP esta normalizada y satisface:

$$\int_{0}^{Q \max} FDP(q) \cdot dq = 1$$
 (AXI.3)

La integración del caudal en cabecera para la campaña de riego determina el volumen total suministrado en dicha red, que se puede calcular como la integral en todo el dominio de caudales del producto de la FDP(q) y q.

$$V = \int_{0}^{T} q(t) \cdot dt = T \cdot \int_{0}^{Q \max} \frac{1}{T} \cdot \frac{dt}{dq} \cdot q \cdot dq = T \cdot \int_{0}^{Q \max} FDP(q)q \cdot dq$$
(AXI.4)

Para evaluar la *FDP* en fase de proyecto GESTAR estima una *FDP teórica*, (García, 2009), (Esperanza, 2007) obtenida mediante la extensión de las ideas contenidas en (Roldan et al., 2003), consistentes en agregar las contribuciones de las *FDP* mensuales, cuyo estadístico se asimila una distribución Normal cuya media y desviación típica se computan en función de las probabilidades de apertura de cada hidrante en cada mes (dependiente a su vez del módulo, superficie y necesidades hídricas mensuales) y de la franja horaria.

En el caso existencia de registros de caudal, La *FDP* puede inferirse de dichas medidas, obteniendo así una *FDP experimental*, que puede provenir de:

a) Redes preexistentes en explotación, de comportamiento semejantes cuya demanda respecto al caudal máximo se supone similar.

b) La propia red una vez puesta de marcha y registrada una muestra de caudales "suficientemente representativa", para que la muestra sea estadísticamente significativa..

c) Una formulación de turnos (previstos o implantados) que permita conocer la frecuencia relativa de ocurrencia de cada caudal.

FDP Evaluada en función de las demandas mensuales. *FDP teórica o sintética*.

La FDP evaluada en función de las demandas mensuales, es construida con las probabilidades de apertura de los hidrantes, probabilidades dependientes de las necesidades hídricas de los cultivos instalados, los tiempos necesarios de riego y de la dotación asignada en cada toma. Esta vía de evaluación se aplica en el caso de redes de riego ya existentes y de nueva implantación en las que la demanda es de tipo estocástico, no es conocida o no existen aforos. No siempre se dispone de la caracterización del reparto de frecuencias de caudales en los sistemas, ya sea por estar en fase de proyecto, o por no disponer de los dispositivos que permiten medir y almacenar de manera continua los datos.

En este modelo se evalúa una curva de distribución de demanda combinando las funciones de densidad de probabilidad mensuales, de tipo Gaussiano, dependientes de las necesidades hídricas diarias del mes, de la configuración topológica, de las dotaciones de los hidrantes, y de las parcelas y cultivos servidos, conduciendo a la función de densidad de probabilidad (FDP) supuesta para las demandas en la red. La estrategia seguida en el modelo incorpora la heterogeneidad en la demanda para los diversos meses (j) de la campaña y la discriminación de tarifas por franjas. Se consideran probabilidades distintas de funcionamiento para cada hidrante, con diferentes dotaciones, superficies, jornadas de riego, además se supone que:

La dotación del hidrante (d_i) y superficie (S_i) es específica para cada hidrante.

Las necesidades mensuales (N_j) (medidas en mm/día) serán uniformes para toda la red, así como la Jornada Efectiva de Riego (*JER*), relacionada con el rendimiento de la red.

De esta manera los tiempos de riego serán diferentes para cada boca de riego o hidrante (*i*). Cada hidrante (*i*) tendrá su propio tiempo diario necesario de aplicación del riego en cada mes (*j*) en función de las necesidades hídricas del mes (N_j) y de su dotación (d_i) de modo que:

 $t_{ij} = \frac{N_j \cdot S_i}{d_i}$ Donde: t_{ij} - tiempo necesario de apertura diario del hidrante (*i*) en el mes (*j*) para cubrir las necesidades hídricas del mes (*N_j*) con la dotación (*d_i*).

Cada hidrante o boca de riego (i) tendrá en cada mes (j) y cada franja o periodo tarifario (franja') su propia probabilidad de apertura $(P_{ijfranja})$, en función del tiempo (t_{ij}) de aplicación en un día de cada mes (j) y del reparto de dicho tiempo en las franjas horarias $(t_{iifrania})$.

Se determinará la probabilidad de apertura de cada hidrante (i) en cada franja) como el cociente entre el tiempo necesario para la aplicación del riego en cada hidrante (i) en una franja horaria de cualquier día del mes (j) entre los tiempos disponibles para el riego de cada franja

Para el cómputo de las probabilidades de apertura de hidrante, el caudal medio por franja horaria y cada mes será:

$$\mu_{jfranja} = \sum_{i=1}^{nt} d_i \cdot P_{ijfranja}$$
(AXI.5)

Donde:

 $\mu_{ifrania}$ - caudal medio en cada franja (') horaria cualquier del mes (j).

 d_i - dotación de riego en cada hidrante (*i*).

 $P_{ijfranja}$ - probabilidad de apertura de hidrante (*i*) de un día tipo en cada mes (*j*) y respectiva franja (').

En el mismo orden se determina la varianza del caudal medio demandado en cabecera en cada franja y mes (*j*) mediante la expresión:

$$\left(\sigma^{2}\right)_{jfranja} = \sum_{i=1}^{nt} d_{i} \cdot P_{ijfranja} \cdot \left[d_{i} - d_{i} \cdot P_{ijfranja}\right]$$
(AXI.6)

Asumiendo que la distribución estadística de caudales en cada mes sigue una ley de tipo normal, en coherencia con las hipótesis de Clément aprovechadas para definir los caudales de diseño y el de máxima demanda, para todas las horas de la jornada efectiva de riego (*JER*), se calcula la función de densidad de probabilidad (FDP) del caudal en la cabecera de la red, para cada mes y por cada franja horaria, como una distribución normal evaluada con los valores de media y varianza.

Las funciones de densidad de probabilidad $(fdp_{jfranja}(Q_i))$ de cada mes (j) y la función de densidad correspondiente a la campaña $(fdp_{año_franja}(Q_i))$ se representan gráficamente con los datos de la FIGURA AXI.1 para un periodo tarifario concreto, por ejemplo en una red de riego genérica.



FIGURA AXI.1 Curvas de las Funciones de Densidad de Probabilidad mensuales y FDP anual

Las curvas de la función de densidad de probabilidad mensual (FIGURA AXI.1), reflejan el comportamiento de la distribución del consumo en cada mes (j) dándonos la noción de la frecuencia de determinados caudales en la cabecera del sistema.

Sin embargo la curva anual no es del tipo normal, es decir, no tiene la forma de la campana de Gauss, porque ella resulta de multiplicar las curvas mensuales de la función de densidad ($fdp_{jfranja}$), por el tiempo (t_j) útil de duración de cada periodo o mes (j), con lo que se obtiene una curva de frecuencias y distribución anual de los caudales de cabecera.

Si se multiplican las funciones de densidad de probabilidades $(fdp_{jfranja}(Q))$ o $(fdp_{ano-franja}(Q))$, por las potencias absorbidas en la estación de bombeo en función del caudal, se genera la distribución de potencia absorbida en función del caudal circulante, con la que puede realizarse una integración en el rango de caudales requeridos para evaluar el coste de la energía consumida durante las horas que se bombea al año en las diferentes franjas de forma más realista.

EJEMPLOS:

La obtención de la PDF en el primer ejemplo, se realiza en base a las necesidades hídricas mensuales de un sector de riego correspondientes a los valores proyectados:

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Necesidades	0,00	0,02	0,66	0,80	1,88	2,65	4,50	4,09	1,40	0,00	0,00	0,00
(mm/dia)												

TABLA AXI.1 Volúmenes servidos mensuales

Estos valores, recopilados del proyecto, se introducen en la ventana "Función de Densidad de Probabilidad de Caudal", aplicados a la modelización en Gestar del sector de riego estudiado (tiene información de superficies, dotaciones etc... de los hidrantes)

En la FIGURA AXI.2 se recoge el resultado encontrado para la *FDP* de los caudales demandados a lo largo de toda la campaña de riego, que muestra, como es habitual, una reducida frecuencia de aparición de los caudales del entorno del de diseño, y una mayor presencia de caudales comprendidos en la zona media-baja, que apunta la conveniencia de disponer también de rendimientos elevados en las gamas de caudales intermedios.



FIGURA AXI. 2 Estimación de función de densidad de probabilidad de caudales

Otro caso de uso de la FDP teórica, consiste en evaluarla partiendo exclusivamente de las necesidades hídricas (mm/día) mes a mes, obtenidas de los volúmenes servidos en cabecera según el registro acumulado del caudalímetro (**Consumo mensual**), y de las horas de campaña efectiva de riego. Se obtiene la FDP procesando las mediciones del caudalímetro y computando el volumen servido mes a mes, y este se traslada a necesidades mm/día. Como horas totales de la campaña se estiman las horas JER x número de días con presencia de registros (días que ha funcionado la estación de bombeo)

Mes	Total m3	mm/día
MAYO	97607,00	1,66630285
JUNIO	155765,00	2,6591501
JULIO	394746,00	6,73892637
AGOSTO	314688,00	5,37221216
SEPTIEMBRE	38916,00	0,66435647
TOTAL	1001722,00	

TABLA AXI.2 Volúmenes servidos mensuales
FDP Evaluada en función de la distribución de frecuencia de caudales demandados. *FDP experimental*

Si se conoce o estima la estructura de demanda de una red, bien sea porque esta ya se encuentre operativa y existen registros fiables, bien porque la demanda en la red se considera similar a la que se da en otra equivalente que se encuentra caracterizada, la FDP puede evaluarse de manera directa en forma de frecuencia relativa de presencia de cada caudal.

En el caso del análisis energético para redes ya instaladas y en funcionamiento, si disponemos de registros de caudales a lo largo de la campaña (caudalímetro con un sistema de almacenamiento de información), podemos construir la llamada FDP experimental agrupando las frecuencias en intervalos de caudal. Para construir la FDP de este modo es necesario conocer una muestra representativa de la demanda de la red, bien porque ya se encuentra operativa y existen históricos, bien porque la demanda en la red se considera similar a la que se da en otra equivalente, que ya se encuentre caracterizada.

En este apartado se realiza en primera aproximación el análisis y posible tratamiento a aplicar en aquellos sistemas de bombeo donde la demanda es previamente conocida mediante el aforo de series históricas de datos, o mediante mediciones directas de caudales circulantes en un periodo de tiempo útil (Δt).

Computando el número de registros cuyo valor de caudal se encuentran entre los intervalos de caudal definidos (Q1 y Q2), se obtienen las frecuencias relativas de ocurrencia de los caudales Estos registros se transforman en tiempo que el sistema ha estado trabajando en los intervalos de caudal considerados. Los tiempos en los que el sistema no se ha registrado actividad se les asigna caudal 0 hasta completar las horas totales de la campaña de riego (Jornada efectiva de riego x días de la campaña)



FIGURA AXI.3 Frecuencias relativas de ocurrencia de los caudales (intervalos 5 l/s)

Agrupando las frecuencias en intervalos de caudal (5 l/s), FIGURA AXI.3),, construimos la Función de Densidad de Probabilidad FDP (FIGURA AXI.4).

Así la probabilidad de que el caudal demandado Q(i) se encuentre en el rango (Q1,Q2), será el área debajo de la curva.



EJEMPLO :En este ejemplo se evalúa la FDP de manera experimental a partir de los datos registrados de la lectura de caudal cada 15 minutos que la estación de bombeo almacenó durante toda la campaña, agrupando las frecuencias en intervalos de 5 l/s.

La construcción de la FDP experimental o evaluada en función de las frecuencias, se realiza computando los registros que el caudal se encuentra entre un determinado intervalo, en este caso el intervalo es de 5 l/s. Una vez que conocemos el número de registros de cada intervalo de caudal, y el tiempo de duración del registro, lo relacionamos con el número total de registros y obtenemos la frecuencia relativa. El tiempo dentro de los días en los que hay constancia de que la estación ha funcionado, hasta completar las horas JER, se le asigna caudal 0.

Para obtener las frecuencias necesitamos extraer de los registros del caudalímetro los siguientes datos:

Días campaña: días en los que se produjeron registros de caudal

Horas Totales campaña. Días de la campaña x 24h

Rendimiento : rendimiento de la red (JER/Horas Totales campaña)

JER anual o Horas teóricas campaña: Horas físicas campaña x Rendimiento (o JER xDías campaña)

Horas registradas: Número de horas contabilizadas de funcionamiento de la estación

(incluyendo las horas registradas con caudal 0)

Faltan para horas teóricas y considero caudal 0: Horas teóricas campaña - Horas registradas

Número datos registrados: Número total de lecturas del caudalímetro

Número de datos que completo q=0: Faltan para horas teóricas y considero caudal 0:

NUMERO DATOS TOTALES: Número datos registrados+ Número de datos que completo q=0:

De manera que la frecuencia relativa en un intervalo de caudal será la relación entre el número de registros cuyo valor de q esté comprendido en el intervalo respecto del número de datos totales (incluidos los datos considerados caudal 0 dentro de las horas teóricas)

$$Frecuencia(\Delta q) = \frac{n^{\circ} registros}{N \acute{u} mero Datos Totales}$$

GESTAR2010, procesa estas frecuencias y las transforma en la FDP experimental.

Las horas teóricas de la campaña obtenidas son las que se usarán en el cómputo del consumo energético.

En la TABLA AXI.3 y TABLA AXI.4,, aparecen los resultados del cómputo de registros del caudalímetro para la obtención de datos totales para las frecuencias relativas. La TABLA AXI.5 muestra un ejemplo de procesado de datos para la obtención de las frecuencias relativas y la FDP experimental, usando como número total de datos para la relación de frecuencias el obtenido en la TABLA AXI.4: 13.968.

Días campaña	153
Horas físicas campaña	3672
Rendimiento	0,75
JER anual o Horas teóricas campaña	2754
Horas registradas	2418
Faltan para horas teóricas y considero caudal 0	336

TABLA AXI.3 Horas de funcionamiento de la estación Arguedas para procesado de frecuencias

Número datos registrados	13632
Número de datos que completo q=0	336
NUMERO DATOS TOTALES	13968

TABLA AXI.4 Número de mediciones procesado de frecuencias

		I			I				
					x horas 2754 (todas las horas JER de la campaña				
					independiente del caudal)				
				10.00	ontando Q=0+ los	; que faltan pa	ira JER (medido	os+ no medido	
Datos de entrada		Ran	go		Repetición 457	<u>u</u>	frecuencia	e Eviseosne	
Número total de datos MEDIDOS:	13632		- 5	5	457	0.005	0,03272	0,04332000	
Caudales nulos:	121	5	10	5	602	0.01	0.01009	2.01890034	
Número de datos no nulos:	13511	10	15	5	1346	0,015	0,05326	10,652921	
		15	20	5	2083	0,02	0,05276	10,5526919	
		20	25	5	2338	0,025	0,01826	3,65120275	
		25	30	5	2700	0,03	0,02592	5,18327606	
	0.140	30	35	5	3298	0,035	0,04281	8,56242841	
Numero de horas contabilizadas	2418	35	40	5	3693	0,04	0,02828	5,655/8465	
Jer anual (155116) Herec que falten y l'considere 0	27:54	40	40	5	3977	0,045	0,02033	4,00043757	
Número TOTAL DATOS	13968	50	55	5	4563	0,05	0,02470	3 45074456	
Caudales nulos totales	457	55	60	5	4841	0.06	0.01990	3,98052692	
Número de datos no nulos TOTALES	13511	60	65	5	5089	0,065	0,01775	3,55097365	
		65	70	5	5360	0,07	0,01940	3,88029782	
		70	75	5	5604	0,075	0,01747	3,49369989	
horas de la campaña físicas	3672	75	80	5	5817	0,08	0,01525	3,04982818	
Horas teóricas de la campaña	2754	80	85	5	6038	0,085	0,01582	3,16437572	
Horas registradas	2418	85	90	5	6233	0,09	0,01396	2,79209622	
ranan para noras teoricas	JJD	90	100	5	6464	0,095	0,01654	3,30756014	
Caudal Máximo (I/c):	301	95	100	5	6770	0,1	0,02191	4,3014433	
Saada maximo (ys).	JZT	105	110	5	7195	0,105 ∩ 11	0.01632	3.26460481	
		110	115	5	7385	0.115	0.01360	2,72050401	
		115	120	5	7554	0,12	0,01210	2,41981672	
		120	125	5	7774	0,125	0,01575	3,15005727	
		125	130	5	8003	0,13	0,01639	3,27892325	
		130	135	5	8232	0,135	0,01639	3,27892325	
		135	140	5	8515	0,14	0,02026	4,05211913	
		140	145	5	8751	0,145	0,01690	3,37915235	
		140	155	5	9175	0,15	0,01004	2 86368843	
		155	160	5	9524	0,16	0,02499	4,99713631	
		160	165	5	9832	0,165	0,02205	4,41008018	
		165	170	5	10052	0,17	0,01575	3,15005727	
		170	175	5	10313	0,175	0,01869	3,7371134	
		175	180	5	10623	0,18	0,02219	4,43871707	
		180	185	5	10889	0,185	0,01904	3,80870561	
		100	190	5	1130	0,19	0,01763	3,5652321	
		195	200	5	11592	0,100	0.01446	2.89232532	
		200	205	5	11819	0,205	0,01625	3,25028637	
		205	210	5	12003	0,21	0,01317	2,63459336	
		210	215	5	12156	0,215	0,01095	2,19072165	
		215	220	5	12326	0,22	0,01217	2,43413517	
		220	225	5	12516	0,225	0,01360	2,72050401	
		225	230	5	12636	0,23	0,00859	1,71821306	
		235	230	5	12927	 ∩ 24	0,00030	2.3768614	
		240	245	5	13076	0,245	0,01067	2,13344788	
		245	250	5	13170	0,25	0,00673	1,34593356	
		250	255	5	13269	0,255	0,00709	1,41752577	
		255	260	5	13389	0,26	0,00859	1,71821306	
		260	265	5	13494	0,265	0,00752	1,50343643	
		265	270	5	13572	0,27	0,00558	0.04601710	
		270	2/5	5	13030	U,2/5	0,00473	1 116838/0	
		280	285	5	13766	0,20 0 285	0.00358	0.71592211	
		285	290	5	13808	0.29	0,00301	0,60137457	
		290	295	5	13836	0,295	0,00200	0,40091638	
		295	300	5	13869	0,3	0,00236	0,47250859	
		300	305	5	13918	0,305	0,00351	0,70160367	
		305	310	5	13951	0,31	0,00236	0,47250859	
		310	315	5	13962	0,315		0,15/50286	
		320	320	5	13964	U,32	0,00014	0,02063688	
		- JZU		1 0	13300	0,325	0,00020	0,00727377	

TABLA AXI.5 Procesado de datos para obtención de PDF Experimental

La FIGURA AXI.5 muestra la *FDP* experimental, mediante los datos de caudal en cabecera registrados en el autómata de la estación de bombeo cada 15 minutos, conjuntamente con la variante FDP sintética generada por GESTAR, a partir exclusivamente de los volúmenes mensuales (ejemplo apartado anterior).

Se observa la semejanza cualitativa de estas FDP. El área debajo de cada tramo de curva representa la frecuencia relativa de ocurrencia del respectivo caudal, por lo que se concluye que todas las variantes predicen una elevada presencia de caudales pequeños y medios, y una muy baja probabilidad de concurrencia de caudales cercanos al de diseño, 0,3 m3/s, hecho vinculado a un consumo de agua netamente inferior al previsto.



FIGURA AXI.5 Funciones de Densidad sintética (Consumo mensual) y experimental para la red ejemplo.

REFERENCIAS

- ALIOD, R.; EIZAGUERRI, A.; ESTRADA, C.; PERNA, E. (1997): "Métodos convencionales y avanzados para el diseño y análisis hidráulico de redes de distribución a presión en riego a la remanda" Riegos y Drenajes Siglo XXI, nº 22, Enero 1997.
- ALIOD, R., EIZAGUERRI, A.; ESTRADA, C. (1998). "Development and validation of hydraulic modelling tools for pressurised irrigation networks". Hydroinformatics '98. Vladan Babovic & Lars Christian Larsen, Danish Hydraulic Institute, Horsholm, Denmark, 545-552.
- ALIOD, R & GONZÁLEZ, C. (2007): "A computer model for pipe flow irrigation problems". Numerical modelling of hydrodynamics for water resources – García-Navarro & Playán (eds). Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-44056-1.
- ALIOD, R.; ESPERANÇA, M; GONZÁLEZ, C.; MARZAL, A.; VAQUERO, V. (2007): "Comparativa de los Resultados de diversos algoritmos de dimensionado óptimo de redes ramificadas en redes colectivas de riego a presión". Actas del XXV Congreso Nacional de Riegos. Pamplona (Navarra)
- ESPERANÇA .M. (2007). "Procedimientos de optimización del diseño y regulación del bombeo con inyección directa en sistemas de riego a presión". Tesis Doctoral del Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales y Fluidos. Área de Mecánica de Fluidos. Universidad de Zaragoza.
- ESTRADA, C.; GONZÁLEZ, C.; ALIOD, R.; PAÑO J. (2009): "Improved Pressurized Pipe Network Hydraulic Solver for Applications in Irrigation Systems" J. of Irrigation and Drainage Engng, Vol. 135, No. 4, August 1, 2009
- GARCÍA S.; ALIOD R.; PAÑO J.; MARZAL A.; PRAT R.; LÓPEZ-CORTIJO I., ESQUIROZ J.C., EDERRA, I.; (2008): "Aplicación de las nuevas herramientas implementadas en gestar 2008 para la evaluación fiable de la regulación y los costes energéticos en estaciones de bombeo directo". XXVI Congreso Nacional de Riegos. Huesca (Huesca).
- GARCÍA S. (2009): "Herramientas y metodologías avanzadas en Gestar 2008 para el diseño hidráulico integral de redes de riego a presión con bombeo directo" Proyecto Fin de Carrera. EPS Huesca.
- GONZÁLEZ, C. & ALIOD, R. (2003). "Mejoras en el método de la serie económica para el dimensionado de redes ramificadas". Actas del XXI Congreso Nacional de Riegos. Mérida (Badajoz).

- GONZÁLEZ, C. & ALIOD, R. (2005): "Modelización integrodiferencial de la hidráulica de un elemento con consumo en ruta dependiente de la presión y alimentado por los dos extremos". Actas del XXIII Congreso Nacional de Riegos Elche (Alicante).
- GONZÁLEZ, C., M. ESPERANÇA, A, ALIOD, R., MARTÍNEZ, I, GARCÍA, S. (2005) "Resultados de la Generalización y Mejora de las Rutinas de Dimensionado Óptimo, Mediante el Método de la Serie Económica, Implementadas en GESTAR". Actas del XXIII Congreso Nacional de Riegos. Elche (Alicante).
- GUILLÉN, J; BESCOS, M.; DOZ, J.M.; MARZAL, A., ALIOD, R. (1998): "Metodologías y resultados para la validación y calibración de modelos hidráulicos de redes de distribución a la demanda". Riegos y Drenajes Siglo XXI, nº 102, Septiembre 1998
- IDAE. (2008). "*Protocolo de auditoria energética para las comunidades de regan*tes". Ministerio de Industria.
- LABYE, Y., OLSON, M.A., GALAND, A., TSIOURTIS, N. (1988): "Design and optimization of irrigation distribution networks". FAO Irrigation and Drainage paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- LÓPEZ-CORTIJO, I.; ESQUIROZ, J.C.; ALIOD, R.; GARCÍA, S. (2007): "Determinación de los costes energéticos en el cálculo de redes a presión con bombeo directo". XXV Congreso Nacional de Riegos. Pamplona (Navarra).
- PAÑO, J., GARCÍA, S., ALIOD, R., GONZÁLEZ, C. (2009). "Evaluación y optimización de costes energéticos en regadíos a presión mediante Gestar 2009". Riegos y Drenajes XXI. Nº 167. Mayo Junio 2009
- ROLDÁN, J.; PULIDO-CALVO, I.; LÓPEZ-LUQUE, R.; ESTRADA, J.C.G.;. (2003) Water Delivery System Planning, considering irrigation simultaneity. ASCE, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol 129, nº4, pp 247-255
- .UPV (1993): "Curso de diseño hidráulico de redes de riego. Unidad Docente Mecánica Fluidos". Unidad Docente Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia.
- UPV (1999): "*DIOPCAL, descripción y uso de la aplicación*". Grupo de Investigación y Desarrollo de Modelos Hidráulicos. Departamento de Ingeniería Hidráulica. Universidad Politécnica Valencia.
- WARRICK, A.W. & YITAYEW, M. (1988): "*Trickle lateral hydraulics I; analytical solution*". J. Irrigation and Drainage Engng 114 (2) pp. 281 288.