



Software *para*
Arquitectura,
Ingeniería y
Construcción

Infraestructuras urbanas

Manual del usuario

CYPE Ingenieros, S.A.

Avda. Eusebio Sempere, 5
03003 **Alicante**
Tel. (+34) 965 92 25 50
Fax (+34) 965 12 49 50
cype@cype.com

CYPE Madrid

Augusto Figueroa, 32-34, bajo
28004 Madrid
Tel. (+34) 915 22 93 10
Fax (+34) 915 31 97 21
cype.madrid@cype.com

CYPE Catalunya

Almogàvers, 64-66, 2º A
08018 Barcelona
Tel. (+34) 934 85 11 02
Fax (+34) 934 85 56 08
cype.catalunya@cype.com

www.cype.com

IMPORTANTE: ESTE TEXTO REQUIERE SU ATENCIÓN Y SU LECTURA

La información contenida en este documento es propiedad de CYPE Ingenieros, S.A. y no puede ser reproducida ni transferida total o parcialmente en forma alguna y por ningún medio, ya sea electrónico o mecánico, bajo ningún concepto, sin la previa autorización escrita de CYPE Ingenieros, S.A. La infracción de los derechos de propiedad intelectual puede ser constitutiva de delito (arts. 270 y sgts. del Código Penal).

Este documento y la información en él contenida son parte integrante de la documentación que acompaña a la Licencia de Uso de los programas informáticos de CYPE Ingenieros, S.A. y de la que son inseparables. Por consiguiente está amparada por sus mismas condiciones y deberes.

No olvide que deberá leer, comprender y aceptar el Contrato de Licencia de Uso del software del que es parte esta documentación antes de utilizar cualquier componente del producto. Si NO acepta los términos del Contrato de Licencia de Uso, devuelva inmediatamente el software y todos los elementos que le acompañan al lugar donde lo adquirió para obtener un reembolso total.

Este manual corresponde a la versión del software denominada por CYPE Ingenieros, S.A. como Infraestructuras urbanas. La información contenida en este documento describe sustancialmente las características y métodos de manejo del programa o programas a los que acompaña. La información contenida en este documento puede haber sido modificada posteriormente a la edición mecánica de este libro sin previo aviso. El software al que acompaña este documento puede ser sometido a modificaciones sin previo aviso.

CYPE Ingenieros, S.A. dispone de otros servicios entre los que se encuentra el de Actualizaciones, que le permitirá adquirir las últimas versiones del software y la documentación que le acompaña. Si Ud. tiene dudas respecto a este escrito o al Contrato de Licencia de Uso del software o quiere ponerse en contacto con CYPE Ingenieros, S.A., puede dirigirse a su Distribuidor Local Autorizado o al Departamento Posventa de CYPE Ingenieros, S.A. en la dirección:

Avda. Eusebio Sempere, 5 · 03003 Alicante (España) · Tel: +34 965 92 25 50 · Fax: +34 965 12 49 50 · www.cype.com

© CYPE Ingenieros, S.A.

Editado e impreso en Alicante (España)

Windows ® es marca registrada de Microsoft Corporation ®

Índice general

Índice general	3	1.2.2. Datos previos	21
Infraestructuras urbanas	5	1.2.2.1. Condiciones de recogida	21
Generalidades	7	1.2.2.2. Conducciones	24
1. Ayudas en pantallas	7	1.2.2.3. Excavaciones	28
1.1. Tecla F1	7	1.2.3. Cálculo (Opción: Calcular)	29
1.2. Icono con el signo de interrogación	7	1.2.3.1. Formulación	29
1.3. Icono en forma de libro	7	1.2.3.2. Conducciones con aportes distribuidos	32
1.4. Guía rápida	7	1.2.3.3. Diseño (Opción: Dimensionar)	32
2. Preguntas y respuestas	8	1.2.3.4. Unidades	33
1. Memorias de cálculo	9	1.3. Memoria de Electrificación	33
1.1. Memoria de Abastecimiento de agua	9	1.3.1. Introducción	33
1.1.1. Introducción	9	1.3.2. Datos previos	34
1.1.2. Datos previos	9	1.3.2.1. Condiciones del suministro	34
1.1.2.1. Condiciones del suministro	9	1.3.3. Cálculo (Opción: Calcular)	37
1.1.2.2. Conducciones	12	1.3.3.1. Formulación	37
1.1.2.3. Excavaciones	15	1.3.3.2. Instalaciones con consumos distribuidos	40
1.1.3. Cálculo (Opción Calcular)	16	1.3.3.3. Resolución del sistema mallado	40
1.1.3.1. Formulación tuberías	16	1.3.3.4. Diseño (Opción: Dimensionar)	40
1.1.3.2. Tuberías con consumos distribuidos	17	1.3.3.5. Unidades	41
1.1.3.3. Formulación válvulas	18	1.4. Memoria de Gas	42
1.1.3.4. Formulación Bombas	19	1.4.1. Introducción	42
1.1.3.5. Resolución del sistema mallado	19	1.4.2. Datos previos	42
1.1.3.6. Diseño (Opción Dimensionar)	19	1.4.2.1. Condiciones del suministro	42
1.1.3.7. Unidades	20	1.4.2.2. Conducciones	44
1.2. Memoria de Alcantarillado	21	1.4.2.3. Excavaciones	45
1.2.1. Introducción	21	1.4.3. Cálculo (Opción: Calcular)	46
		1.4.3.1. Formulación	47
		1.4.3.2. Conducciones con consumos distribuidos	47

1.4.3.3. Resolución del sistema mallado	48	3.2.4. Introducción de la geometría	64
1.4.3.4. Diseño (Opción: Dimensionar)	48	3.2.5. Edición de nudos	66
1.4.3.5. Unidades	49	3.2.6. Edición de tramos	66
2. Conceptos básicos	50	3.2.7. Cálculo	67
2.1. Listados	51	3.3. Memoria de Electrificación	68
2.2. Planos	51	3.3.1. Datos generales	70
3. Ejemplos prácticos	53	3.3.1.1. Carpeta General	70
3.1. Ejemplo Abastecimiento de agua	53	3.3.1.2. Carpeta Parámetros	71
3.1.1. Datos generales	55	3.3.1.3. Carpeta Límites	71
3.1.1.1. Carpeta general	55	3.3.1.4. Carpeta Coeficientes	71
3.1.1.2. Carpeta Parámetros	56	3.3.1.5. Carpeta Excavaciones	71
3.1.1.3. Carpeta Límites	56	3.3.2. Hipótesis	71
3.1.1.4. Carpeta Coeficientes	56	3.3.3. Combinaciones	71
3.1.1.5. Carpeta Excavaciones	56	3.3.4. Introducción de la geometría	71
3.1.2. Hipótesis	56	3.3.5. Edición de nudos	73
3.1.3. Combinaciones	56	3.3.6. Edición de tramos	74
3.1.4. Introducción de la geometría	57	3.3.7. Cálculo	74
3.1.5. Edición de nudos	58	3.4. Memoria de Gas	75
3.1.6. Edición de tramos	59	3.4.1. Datos generales	76
3.1.7. Cálculo	60	3.4.1.1. Carpeta General	76
3.2. Ejemplo de Alcantarillado	61	3.4.1.2. Carpeta Parámetros	77
3.2.1. Datos generales	62	3.4.1.3. Carpeta Límites	77
3.2.1.1. Carpeta general	62	3.4.1.4. Carpeta Coeficientes	77
3.2.1.2. Carpeta Parámetros	63	3.4.1.5. Carpeta Excavaciones	77
3.2.1.3. Carpeta Límites	63	3.4.2. Hipótesis	77
3.2.1.4. Carpeta Coeficientes	63	3.4.3. Combinaciones	78
3.2.1.5. Carpeta Excavaciones	64	3.4.4. Introducción de la geometría	78
3.2.2. Hipótesis	64	3.4.5. Edición de nudos	80
3.2.3. Combinaciones	64	3.4.6. Edición de tramos	81
		3.4.7. Cálculo	81

Infraestructuras urbanas

Infraestructuras urbanas es un conjunto de programas con los que tiene en su mano las herramientas necesarias para resolver todos los aspectos relativos al cálculo de instalaciones para urbanizaciones. Son programas diseñados de modo similar y equivalente, de forma que las opciones y herramientas generales coinciden en su modo de utilización. De esta manera, el aprendizaje de uno de los programas le servirá para avanzar en el conocimiento de los restantes.

Abastecimiento de agua, el programa desarrollado para el cálculo, diseño, comprobación y dimensionamiento automático de redes de suministro de agua.

Alcantarillado, la herramienta pensada para el cálculo, diseño, comprobación y dimensionamiento automático de redes de saneamiento, cuyo objetivo es evacuar el agua desde pozos de recogida hasta el punto de vertido.

Electricidad, la aplicación para el cálculo, diseño, comprobación y dimensionamiento automático de redes de suministro eléctrico, que proporcionan la potencia requerida en cada punto de consumo. Permite redes malladas, ramificadas y mixtas, en media y baja tensión y en redes de alumbrado público.

Gas, el programa para el cálculo, diseño, comprobación y dimensionamiento automático de redes de gas, cuyo objetivo es hacer llegar el gas a cada punto de consumo.

Generalidades

1. Ayudas en pantallas

Los programas de **CYPE Ingenieros** disponen de herramientas de ayuda en pantalla a través de las cuales el usuario puede obtener directamente del programa la información necesaria sobre el funcionamiento de los menús de los diálogos y de sus opciones.

Esta ayuda está disponible en cuatro formas diferentes:

1.1. Tecla F1

La manera de obtener ayuda de una opción de menú es desplegar el menú, situarse sobre ésta y, sin llegar a ejecutarla, pulsar la tecla F1.

1.2. Icono con el signo de interrogación

En la barra de título de la ventana principal de cada programa existe un icono con el signo de interrogación . Puede obtener ayuda específica de una opción del programa de la siguiente forma: haga clic sobre dicho icono; despliegue el menú que contiene a la opción cuya ayuda quiere consultar; pulse sobre la opción y aparecerá una ventana con la información solicitada. Esta información es la misma que se obtiene con la tecla F1.

Puede desactivar la ayuda de tres maneras diferentes: pulse el botón derecho del ratón, pulsando el icono con el signo de interrogación; o con la tecla **Esc**.

También puede obtener ayuda de los iconos de la barra de herramientas. Para ello pulse sobre el icono con el signo de interrogación . En ese momento se dibujará un borde de color **azul** en los iconos que disponen de información. A continuación, pulse sobre el icono del que quiere obtener ayuda.

En la barra de título de los diálogos que se abren al ejecutar algunas opciones del programa existe también un icono con el signo de interrogación . Tras pulsar sobre este icono presentarán un borde de color azul las opciones o partes del diálogo que disponen de ayuda. Pulse sobre aquélla de la que desee obtener ayuda.

1.3. Icono en forma de libro

En la barra de título de algunos cuadros de diálogo aparece un icono en forma de libro abierto  que ofrece información general del cuadro de diálogo donde aparece.

1.4. Guía rápida

La información de la tecla F1 relativa a las opciones de menú puede consultarse e imprimirse con la opción **Ayuda > Guía rápida**. Algunos programas como **Cypelec** o los incluidos en **Instalaciones del edificio** tienen diferentes pantallas seleccionables mediante pestañas situadas en la parte inferior de cada uno de los programas.

Las ayudas de los diálogos no están reflejadas en esta guía.

2. Preguntas y respuestas

En la página web (<http://faq.cype.es>) podrá encontrar la resolución de las consultas más frecuentes y actualizadas, que recibe el **Departamento de Soporte Técnico** de **CYPE Ingenieros**.

1. Memorias de cálculo

1.1. Memoria de Abastecimiento de agua

1.1.1. Introducción

El objetivo fundamental en el diseño de una red de distribución es hacer llegar el agua a cada punto de consumo. El problema puede abordarse desde dos puntos de vista diferentes:

- **Diseño**

Suele ser el caso más habitual, en el que a partir de una serie de datos de consumo y topografía se desea obtener los diámetros adecuados de las conducciones de agua.

- **Comprobación**

A partir de una instalación ya diseñada, se desea conocer si cumple con las limitaciones de diseño impuestas o consideradas a juicio del técnico.

Tanto si se desea diseñar como si lo que se quiere es comprobar, es necesario tener en cuenta las siguientes pautas:

- **Las condiciones de llegada del agua a los puntos de consumo.** Es necesario respetar una serie de condicionantes, como presiones en los consumos o calidad del agua distribuida.
- **Facilidad de construcción.** La utilización de materiales, diámetros y otros elementos fácilmente disponibles en el mercado, que se ajusten a las normas tanto en dimensiones como en comportamiento.
- **Mantenimiento.** Conseguir un buen funcionamiento de la instalación para evitar un excesivo y costoso mantenimiento correctivo, facilitando el mantenimiento preventivo, es fundamental.

- **Economía.** No sirve tan sólo con hacer que la instalación funcione. Ésta debe comportar, además, un coste razonable evitando en lo posible sobredimensionar.

Una vez recogidos todos los datos necesarios, se efectúa el cálculo con respecto a la formulación adecuada en cada caso.

1.1.2. Datos previos

1.1.2.1. Condiciones del suministro

Son necesarios varios datos a la hora de calcular una instalación. Estos datos son, en definitiva, los que marcarán el comportamiento de la misma.

1.1.2.1.1. Consumos

Generalmente, éste es el principal condicionante en el funcionamiento de la instalación.

El caudal a suministrar en cada uno de los nudos de la instalación suele estimarse en base al tipo de suministro (urbano, industrial, rural...).

En el caso de consumo urbano, se suele ajustar dicho consumo dependiendo del número de habitantes de la ciudad implicada y del tipo de consumo (vivienda, hotel...).

De forma orientativa, en la tabla 1.1 se muestran valores habituales para proyectos.

Adicionalmente, no sólo hay que tener en cuenta los habitantes actuales de las zonas que se desea urbanizar, sino que también hay que realizar una previsión de un posible

crecimiento de la población a la que habría que abastecer desde la red que estamos calculando.

Lugar de consumo	Tipo	Consumo diario
Viviendas	De ciudad pequeña	200 l/habitante
	De ciudad mediana	250 l/habitante
	De gran ciudad	300 l/habitante
	De población rural	150 l/habitante
	Rural aislada	500 l/habitante
Escuela	-	60 l/alumno
Hospital	-	500 l/cama
Cuartel	-	250 l/habitante
Camping	-	100 l/habitante
Oficinas	-	50 l/habitante
Hoteles	Según núm. estrellas	150 – 300 l/cama
Gimnasio	-	200 l/habitante

Tabla 1.1

De forma orientativa, se puede calcular la población futura según la ecuación siguiente:

$$P = P_a \cdot (1 + \alpha)^t$$

siendo,

P: población futura.

P_a: población del último censo.

α: tasa de crecimiento de la población.

t: tiempo transcurrido desde el último censo.

Por aparatos instalados, el caudal es el que se muestra en la tabla 1.2. Los caudales calculados en los nudos de abastecimiento para la red de agua son los mismos que deberán aparecer en los caudales aportados a la red de saneamiento, en la hipótesis de aguas negras (fecales) en redes generales de saneamiento o como único aporte en redes separativas. Hay que tener en cuenta que las redes de agua potable deben siempre diseñarse e instalarse por encima de las redes de saneamiento para evitar contami-

nación del agua potable en caso de rotura o fuga en las instalaciones de saneamiento.

Una vez determinado el caudal de consumo en cada nudo, es necesario introducir una consideración de puntas de consumo. Generalmente, y como recomendación del M.O.P.U. en su instrucción para la redacción de proyectos de abastecimiento y saneamiento, se considera el caudal punta obtenido a lo largo de 10 horas como 2.4 veces el caudal considerado en la estimación.

En algunos casos, puede ser interesante usar un coeficiente que incremente o reduzca de forma general los consumos de una red. De este modo, es posible simular funcionamientos estacionales o con menores ocupaciones. Este coeficiente sólo se aplica en el momento de cálculo sobre los caudales consumidos en los nudos.

Tipo de aparato	Caudal en l/s	
Baño	0.30	
Bidé	0.10	
Boca de incendios equipada:	Diámetro 25 mm	1.67
	Diámetro 45 mm	3.00
Hidrante 100 mm	10.00	
Ducha	0.20	
Fregadero:	Vivienda particular	0.20
	Restaurante / Hotel	0.30
Lavadora automática	0.20	
Lavabo	0.10	
Urinario:	Con control	0.10
	Flujo continuo	0.05
Boca de riego (∅ 25 mm)	1.00	
W.C.:	Con depósito	0.10
	Con fluxor	2.00

Tabla 1.2

1.1.2.1.2. Consumos distribuidos

En casos especiales puede ser de gran utilidad simular en el diseño los consumos de la instalación como distribuidos linealmente a lo largo de un tramo de tubería. Para ello el aporte se debe indicar en l/s por metro lineal de conducción.

Esto da una primera estimación en la resolución de instalaciones con consumos similares distribuidos a lo largo de un tramo de gran longitud de tubería. De los resultados gráficos se puede comprobar a partir de qué punto no se cumplen los requerimientos establecidos para la obra, para dividir el tramo en dos con diámetros más adecuados.

Para la resolución de casos como los de riego por goteo pueden ajustarse más los resultados con esta opción, sin necesidad de introducir apenas nudos de consumo.

1.1.2.1.3. Depósitos o suministros de la red

Una red de agua recibe alimentación por uno o varios puntos. Dichos puntos pueden ser:

- **Depósitos.** Cuando se encuentran en una cota elevada, generan la altura piezométrica que mueve el agua a través de los conductos. Se considera su capacidad para producir presión como la altura piezométrica del mismo, es decir, su cota más su nivel.
- **Suministros de red.** Son los puntos de entrada procedentes de la compañía suministradora o bien de otras redes capaces de proporcionar agua a la instalación. Como los depósitos, son los puntos que generan el movimiento de agua en la red. Su altura piezométrica viene determinada por su cota más la presión que asegure la compañía suministradora en dicho punto.

A nivel de cálculo, ambos nudos son del mismo tipo, es decir, puntos con altura piezométrica fija e igual a su cota

más la presión disponible (el nivel en el caso de depósitos; la presión disponible en el caso de puntos de suministro de la compañía).

Los valores de las presiones de suministro de agua varían entre los 20 y los 40 m.c.a., pero debe consultarse con la compañía suministradora la presión que es capaz de entregar en cada uno de los puntos de alimentación de la red que hayamos planeado incluir en el cálculo.

En efecto, dos suministros con presiones similares y alturas geométricas diferentes pueden producir circulaciones entre ellos, debido a la diferencia de alturas piezométricas. Si no existe entre ellos una carga lo suficientemente grande para paliar la diferencia de alturas piezométricas, puede producirse un trasvase de agua de uno a otro.

Para evitar las circulaciones, pueden tomarse las siguientes medidas:

- Evitar en lo posible un gran número de nudos de suministro y, en caso de que sea necesario situar varios de estos puntos, deberán estar lo más separados posible.
- Evitar grandes diferencias de altura piezométrica entre los nudos de suministro. Puede suponerse que la red de la compañía distribuidora es lo suficientemente extensa y está diseñada para proporcionar alturas similares en todos los puntos.
- Situar válvulas antirretorno que permiten la circulación sólo en el sentido deseado.

Al ser posible la introducción en una instalación de varios puntos de suministro, es probable que se produzcan circulaciones entre puntos de alimentación de la red.

Si desea hacer el cálculo con circulaciones de agua entre depósitos o suministros debe recordar que este tipo de comportamiento puede falsear el dimensionamiento de conducciones.

1.1.2.1.4. Velocidad en las conducciones

Una de las principales limitaciones a la hora de dimensionar una red de conductos de agua es la velocidad del fluido en los mismos.

Se suele emplear como límite inferior de velocidad 0.5 m/s, a menos que exista una limitación de diámetro mínimo que impida el cumplimiento de esta velocidad en algunos tramos. Por debajo de 0.5 m/s tienen lugar procesos de sedimentación y estancamiento.

La velocidad máxima suele estar comprendida entre 1.5 y 2 m/s, para evitar fenómenos de arrastre y ruidos, así como grandes pérdidas de carga.

1.1.2.1.5. Presiones en los consumos

Cuando se diseña una red hidráulica de suministro de agua potable, es necesario asegurar en los consumos una presión disponible mínima a la cual se distribuye el agua.

También puede limitar el diseño, en algunos casos, el exceso de presión, ya que podría provocar roturas.

El rango normal de presiones disponibles en nudos de consumo oscila entre los 10 y los 50 m.c.a., aun cuando estos valores vienen determinados en gran medida por las necesidades y tipo propios de cada consumo, junto a un incremento en las fugas en la red y la necesidad de válvulas reductoras en las acometidas de los consumos que no puedan soportar tan altas presiones.

1.1.2.2. Conducciones

El funcionamiento de una instalación de suministro de agua depende en gran medida del tipo y tamaño de las conducciones empleadas.

1.1.2.2.1. Materiales

Determinan la rugosidad superficial del tubo con la que se va a encontrar el agua. Una mayor rugosidad del material implica mayores pérdidas en el tramo. Se suele utilizar en milímetros. Estos son los valores habituales en proyecto de la rugosidad absoluta:

Valores habituales de rugosidad absoluta	
PVC	0.0025 mm
Fibrocemento	0.0250 mm
Fundición revestida	0.0300 mm
Fundición no revestida	0.1500 mm
Hierro galvanizado	0.1500 mm
Hormigón armado	0.1000 mm
Hormigón liso	0.0250 mm

Tabla 1.3

1.1.2.2.2. Diámetros

El tratamiento de los materiales se realiza a través del uso de bibliotecas, de donde se obtienen los materiales a emplear. Cada material aporta su característica de rugosidad absoluta junto con una serie de diámetros. Estas bibliotecas son definibles por el usuario, que puede modificar los coeficientes de rugosidad, así como quitar o añadir diámetros a la serie.

Para cada material, existen predefinidas series de diámetros normalizados. Éstos tienen, habitualmente, la notación 'DN' junto con la dimensión aproximada de su diámetro en milímetros.

Un 'DNx' no significa que el diámetro interior de la conducción sea de x milímetros. Probablemente sea menor, pero debe consultarse en cualquier caso. Los materiales predefinidos procedentes de las bibliotecas contemplan esta diferencia y puede consultarse directamente en la propia biblioteca o en el momento de asignar el diámetro a cada tramo. Para los materiales creados o editados, deberá ser el propio usuario quien designe el diámetro interior de la conducción.

Diámetros mayores proporcionan pérdidas de carga menores en las conducciones y válvulas y disminuyen la velocidad de circulación, pero encarecen el coste de la instalación, con el riesgo añadido de tener velocidades excesivamente bajas o presiones demasiado altas en los nudos.

1.1.2.2.3. Consideración de elementos especiales

Debido a necesidades constructivas o de control, las instalaciones de abastecimiento de agua requieren del uso de elementos especiales diferentes a las tuberías, como pueden ser válvulas (en sus diferentes variantes), codos, reducciones, carretes...

En el caso de las válvulas, se pueden introducir de varios tipos que, atendiendo al modo en que realizan su función en el sistema, pueden clasificarse en:

- **Válvula de regulación.** Es aquella que origina pérdidas de carga en la instalación para sus posiciones intermedias, con objeto de variar de esta manera la distribución de presiones en la misma. También puede ser usada como válvula todo/nada. Se pueden definir distintos grados de apertura para cada combinación.

Desde el punto de vista constructivo, hay diversas válvulas que realizan esta función: de compuerta, de mariposa, de asiento plano... Por tanto, se requieren los datos del fabricante sobre el coeficiente adimensional de

pérdidas a válvula abierta y la tabla de relación de las pérdidas con el grado de apertura de dicha válvula.

- **Válvula antirretorno o de retención.** Se trata de una válvula que sólo permite el paso del agua en un sentido. Sus aplicaciones pueden ser múltiples: evitar recirculaciones en un by-pass, independizar zonas de la instalación con puntos de suministro distintos, etc. El tipo de válvula que realiza esta función constructivamente es muy diferente a las anteriores. Según el diseño tendrá unas pérdidas de carga en su sentido de paso y un cierre rápido frente a la circulación del agua en sentido contrario. Como dato se requiere el coeficiente de pérdidas a válvula abierta y el sentido en que se ubica respecto a la tubería (de origen a extremo).
- **Válvula de control de presión.** Esta es una válvula de regulación pilotada por presión. Controlando su posición de cierre hará que aguas abajo de la válvula se alcance la consigna de presión establecida, siempre que la presión aguas arriba sea superior a ésta. Se pueden definir distintos tarados de presión para cada combinación. Si la instalación queda con una presión inferior a la consignada, sólo se introducirán las pérdidas a válvula abierta.
- **Válvula de control de caudal.** Esta válvula de regulación es de funcionamiento similar a la anterior, pero la consigna es de caudal. Igualmente, se pueden definir distintos tarados de caudal para cada combinación. Si el flujo es menor o igual al consignado, sólo se introducirán las pérdidas a válvula abierta.

El resto de los elementos especiales de la instalación (reducciones, codos...) se pueden considerar agrupados en un mismo tipo que únicamente requiere el coeficiente adimensional de pérdidas que vendrá dado en los catálogos de los fabricantes.

Bombas

Las instalaciones de abastecimiento de agua pueden verse intercaladas con elementos de aporte de energía como son las turbobombas para salvar obstáculos geográficos.

Se distinguen tres grandes grupos en función de la trayectoria que sigue el fluido a lo largo del rodete de la misma:

- **Centrífugas.** Son las de uso más generalizado. Están especialmente indicadas para caudales moderados y alturas notables.
- **Heliocentrífugas.** Su campo de utilización es intermedio entre las bombas centrífugas y las axiales. Los elementos constituyentes como rodete, difusor,.. pueden ser comunes en unos casos a las primeras y en otros casos a las segundas.
- **Axiales.** Se utilizan en la elevación de grandes caudales a una altura más bien reducida. Su instalación es prácticamente siempre con el eje vertical y sumergidas en el depósito de aspiración.

Sea cual sea el tipo de turbobomba a tratar, el dato que la define es la curva característica obtenida a partir de los ensayos que el fabricante realiza en un banco de pruebas y que debe venir detallada en sus catálogos. Ésta es la curva de la bomba a una velocidad de rotación dada, donde H_b es la altura manométrica de la bomba y Q , su otra variable más significativa, es el caudal trasegado.

$$H_b = H_b(Q)$$

Dicho de otra manera, en función del caudal impulsado por la bomba, se producirá un incremento de energía en el fluido que se corresponderá con la diferencia de presión manométrica (altura manométrica H_b) que hay entre la entrada y la salida de la bomba. Esto suponiendo tuberías de aspiración e impulsión del mismo diámetro.

El ángulo de salida del fluido del rodete β suele ser pequeño, entre 15° y 35° , para reducir las pérdidas por fricción en los elementos posteriores al rodete. Esto hace que la curva sea de pendiente decreciente siempre que $\beta < 90^\circ$.

El programa sólo permite definir la curva de la bomba de pendiente decreciente, por ser condición de diseño habitual en las bombas centrífugas.

Otras curvas de interés que se definen en una bomba son la curva de potencia en función del caudal y la curva de rendimiento en función del caudal. Éstas también deben venir en los catálogos de bombas y caracterizan las prestaciones y calidad de diseño de la turbomáquina, aunque a efectos de cálculo hidráulico no son necesarias y, por lo tanto, no se requieren en este programa.

$$P_b = P_b(Q)$$

$$\eta_b = \eta_b(Q)$$

A falta de datos del fabricante, se puede utilizar esta tabla de valores (tabla 1.4.) del coeficiente adimensional de pérdidas para válvulas en posición de apertura:

Válvulas (abiertas)	Coef. pérdidas
De bola	$K = 0.1$
Compuerta	$K = 0.1 - 0.3$
Anti-retorno	$K = 1.0$
De asiento estándar. Asiento de fundición	$K = 4.0 - 10.0$
De asiento estándar. Asiento de forja (pequeñas)	$K = 5.0 - 13.0$
De asiento a 45° . Asiento de fundición	$K = 1.0 - 3.0$
De asiento en ángulo. Asiento de fundición	$K = 2.0 - 5.0$
De asiento en ángulo. Asiento de forja (pequeñas)	$K = 1.5 - 3.0$
Mariposa	$K = 0.2 - 1.5$
Diafragma	$K = 2.0 - 3.5$
De macho o tapón. Rectangular.	$K = 0.3 - 0.5$
De macho o tapón. Circular	$K = 0.2 - 0.3$

Tabla 1.4

Para el aumento de pérdidas en válvulas parcialmente abiertas respecto al valor del coeficiente en apertura total se pueden tomar:

Cociente K / K (abierta)			
Condición	Compuerta	Esfera	Mariposa
Abierta	1.0	1.0	1.0
Cerrada 25 %	3.0 - 5.0	1.5 - 2.0	2.0 - 15.0
50 %	12 - 22	2.0 - 3.0	8 - 60
75 %	70 - 120	6.0 - 8.0	45 - 340

Tabla 1.5

En algunos casos, las pérdidas de carga sufridas en estos elementos, se pueden considerar incrementando un porcentaje la longitud física de los tramos para conseguir una longitud resistente que incluya estas pérdidas de carga localizadas.

Por ello, es posible definir un porcentaje de incremento de la longitud resistente para simular estas pérdidas. Este incremento de longitud sólo se aplica en el momento de cálculo, no en la medición de la tubería.

1.1.2.3. Excavaciones

Las conducciones de agua potable en distribución y urbanización se instalan, por lo general, enterradas. Para ello, suelen excavar zanjás para acoger las conducciones.

La forma de la zanja, el volumen de excavación y otra serie de factores pueden resultar interesantes a la hora de calcular una instalación.

1.1.2.3.1. Características del terreno

La forma en que será excavada la zanja depende en gran medida de las características del terreno donde se enterrará la conducción.

Para ello, deben conocerse los terrenos en los que se va a excavar y algunas características propias del proceso de instalación de la conducción:

- **Talud.** Representa la máxima inclinación de una pared excavada en un terreno con la suficiente solidez como para no desmoronarse. Se suele expresar en metros de apertura horizontal por cada metro excavado verticalmente.
- **Distancia lateral.** Distancia mínima que deberá separarse la conducción de las paredes de la zanja.
- **Ancho mínimo.** Por algún tipo de limitación mecánica, no se pueden construir zanjás con anchos excesivamente pequeños. En caso de que la conducción sea de pequeño diámetro y junto con las distancias laterales no se complete o supere el ancho mínimo, se toma este ancho mínimo como ancho de cálculo.
- **Lecho.** Distancia entre el suelo de la zanja y la base de la conducción. Suele rellenarse con arena, aunque es también posible encontrar lechos de hormigón en algunos casos.
- **Relleno.** Una vez depositada la conducción sobre el lecho, se rellena con arena hasta cubrir la conducción. Llamaremos distancia de relleno al espesor de arena por encima de la conducción.

1.1.2.3.2. Medición

Para realizar el cálculo de excavación, es necesario disponer de información sobre las profundidades de excavación:

- **Cota del nudo.** Indica la cota de la parte inferior de la conducción en cada uno de los nudos de la instalación. Es necesaria también para el cálculo hidráulico de las conducciones.
- **Cota del terreno.** Es la cota a la que queda el terreno modificado, es decir, una vez explanado, sobre el que se va a realizar la excavación.

- **Cota de la rasante.** Es la cota a la que quedará la superficie tras haber cerrado las zanjas y construido el firme sobre el terreno.

Es habitual que el espesor del paquete de firme sea constante para toda una obra, por lo que tan sólo serían necesarias las cotas de rasante, deduciendo el terreno como la cota de rasante menos el espesor del firme. Si no existe firme (espesor = 0), coincidirán rasante y terreno.

Todo lo anterior es válido en obras nuevas. Si se trata de reparaciones o modificaciones sobre calles ya existentes, puede haber diferencias en la medición, al existir dos estratos de características diferentes a efectos de excavación.

1.1.2.3.3. Limitaciones

Debido a la situación bajo tierra de diferentes tipos de instalaciones (electricidad, agua, gas, telefonía...), suele existir una limitación de **profundidad mínima** que debe respetarse para evitar colisiones con otras instalaciones.

Esta profundidad mínima se mide desde la cota de rasante hasta la cara superior de la conducción.

Respetando estas profundidades mínimas, se facilita que en futuras excavaciones no se produzcan roturas accidentales de la conducción.

1.1.3. Cálculo (Opción Calcular)

Una vez recogidos los datos de partida, se procede al cálculo de la instalación, de acuerdo con los tipos de conducciones, diámetros, elementos intercalados, caudales demandados y presiones de suministro. Para ello se emplean la formulación y el método de resolución que se detallan a continuación.

1.1.3.1. Formulación tuberías

En instalaciones hidráulicas se utiliza para la resolución del sistema de ecuaciones, mallado, ramificado o mixto, el método de los elementos finitos de forma discreta.

Para resolver los segmentos de la instalación se calculan las caídas de altura piezométrica, entre dos nudos conectados por un tramo, con la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$h_p = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5}$$

siendo,

h_p : Pérdida de carga (m.c.a.)

L: Longitud resistente de la conducción (m)

Q: Caudal que circula por la conducción (m³/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

D: Diámetro interior de la conducción (m)

El factor de fricción f es función de:

- **El número de Reynolds (Re).** Representa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en la tubería.
 - Cuando las fuerzas viscosas son predominantes (Re con valores bajos), el fluido discurre de forma laminar por la tubería.
 - Cuando las fuerzas de inercia predominan sobre las viscosas (Re grande), el fluido deja de moverse de una forma ordenada (laminarmente) y pasa a régimen turbulento, cuyo estudio en forma exacta es prácticamente imposible.

Cuando el régimen es laminar, la importancia de la rugosidad es menor respecto a las pérdidas debidas al propio comportamiento viscoso del fluido que en régimen turbulento.

Por el contrario, en régimen turbulento, la influencia de la rugosidad se hace más patente.

- **La rugosidad relativa (e/D).** Traduce matemáticamente las imperfecciones del tubo.

En el caso del agua, los valores de transición entre los regímenes laminar y turbulento para el número de Reynolds se encuentran en la franja de 2000 a 4000, calculándose como:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

siendo,

v: La velocidad del fluido en la conducción (m/s)

D: El diámetro interior de la conducción (m)

ν : La viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

Para valores de Re por debajo del límite de turbulencia, se aconseja el uso de la fórmula de Poiseuille para obtener el factor de fricción:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Para régimen turbulento es aconsejable el uso de la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

que debe iterarse para poder llegar a un valor f, debido al carácter implícito de la misma, y donde:

f: Factor de fricción

ϵ : Rugosidad absoluta del material (m)

D: Diámetro interior de la conducción (m)

Re: Número de Reynolds

Como parámetros se supone:

- Viscosidad cinemática del fluido: 1.15e-6 m²/s.
- N° de Reynolds de transición entre régimen turbulento y régimen laminar: 2500.

Desgraciadamente, no se puede asegurar que para el valor umbral de Reynolds elegido como punto de transición entre régimen laminar y turbulento (Re = 2500), el factor de fricción calculado por Poiseuille sea igual al calculado por Colebrook-White.

Por ello, al calcular el factor de pérdidas es necesario realizar una primera iteración con Colebrook-White.

Si esta iteración proporciona un valor de caudal en la zona laminar, se calcula por medio de Poiseuille.

Si Poiseuille diera un resultado en la zona turbulenta, se toma como valor definitivo el calculado por Colebrook-White.

1.1.3.2. Tuberías con consumos distribuidos

Para la resolución de un tramo con consumo uniforme se realiza una discretización de los caudales demandados por metro lineal en pequeños consumos puntuales.

La introducción de esta discretización incrementa el número de nudos que tiene la instalación, por tanto, el número de ecuaciones del sistema. Esto implica un aumento en el tiempo de cálculo similar al producido por la introducción manual de cada uno de los nudos generados por dicha discretización.

Una vez obtenida la solución del sistema de ecuaciones para los subtramos, se obtienen un caudal y una velocidad variable linealmente con la longitud del tramo y la curva correspondiente de presiones, que podrá variar en función de si la tubería tiene también intercalada una válvula, si tiene aporte de caudal por los dos extremos, etc.

Este último caso provoca que el tramo esté recorrido por el flujo en los dos sentidos, encontrando a lo largo del mismo un punto de caudal y velocidad nula, correspondiente a una presión mínima (máxima caída en el tramo).

1.1.3.3. Formulación válvulas

Las pérdidas locales en válvulas u otros elementos intercalados se calculan por medio de la fórmula siguiente que, sustituyendo términos para que quede de forma equivalente a Darcy-Weisbach es:

$$h_p = K \cdot \frac{V^2}{2g} \rightarrow h_p = K \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4}$$

siendo,

h_p : Pérdida de carga local (m.c.a.)

Q: Caudal que circula por la válvula (m³/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

D: Diámetro interior de la válvula (m)

El coeficiente adimensional K para pérdidas locales depende del tipo de elemento que se trate: curvas, codos, tes u otros accesorios, válvulas abiertas o parcialmente cerradas. Habitualmente, este término de caída de presión se mide experimentalmente y, sobre todo en el caso de las válvulas, depende del diseño del fabricante. En tablas anteriores se han podido ver algunos valores medios usuales. Generalmente K disminuye al aumentar el diámetro.

Algunos tipos de válvulas influyen de manera especial en el cálculo de la instalación:

- **Válvulas antirretorno.** Según el sentido en el que el caudal intente circular por el tramo en el que están instaladas (siempre de mayor altura piezométrica a menor) se considerará que la válvula afecta a la instalación con la K de válvula abierta o como una válvula completamente cerrada con K de pérdidas infinita. En este caso, en que la válvula impide la circulación de agua, será necesario el aporte de caudal por otro punto de la instalación; si no, surgirá un problema de cálculo.
- **Válvulas de control de presión.** La resolución de un sistema con este tipo de válvulas se realiza en una pri-

mera iteración considerando las caídas de presión para las válvulas inicialmente abiertas. Se van obteniendo las presiones en los nudos y comprobando si aguas abajo el sistema llegaría a presiones superiores a los tarados de la válvula.

Si no alcanza el valor de consigna, las pérdidas son introducidas mediante la fórmula general de pérdidas locales con la constante K para válvula abierta. Si el valor de la presión del punto aguas abajo de la válvula sí que alcanza o supera la presión de tarado, se cierra la válvula hasta la posición que introduciría las pérdidas necesarias para alcanzar la presión de consigna.

Esta modificación cambia las condiciones de la red y modifica la distribución de presiones de forma que en la siguiente iteración se ajusta esta regulación hasta que las diferencias son mínimas.

- **Válvulas de control de caudal.** En el control de caudal, se actúa de igual modo comprobando los caudales circulantes por el tramo de la válvula con el caudal de tarado.

Las pérdidas de la válvula se aumentarán hasta que el caudal en ese tramo no supere el de tarado haciendo que los consumos se alcancen mediante el aporte de agua por otros tramos de la instalación. Si no hay aporte para todos los consumos de la instalación el programa avisará que existe un problema de cálculo.

Si la válvula está en una tubería situada en un terreno inclinado, con cotas en sus nudos diferentes, la altura piezométrica de la válvula se calcula con la presión que le llegue o con la de tarado más su cota de terreno real. Así, es conveniente que sitúe las válvulas de control de presión próximas al punto de consumo que quiera controlar para tener alturas piezométricas similares.

1.1.3.4. Formulación Bombas

Para calcular una instalación en la que exista una bomba de impulsión de agua es necesaria una expresión matemática que modelice la curva obtenida experimentalmente en un banco de ensayos para la bomba.

Generalmente los fabricantes proporcionan en sus catálogos gráficas de las que obtener puntos de funcionamiento a partir de los que se ajustará analíticamente la bomba usando el método de los mínimos cuadrados.

La forma analítica de la curva característica de la bomba responde a una parábola de segundo grado de la forma:

$$h_p = C - B \cdot Q - A \cdot Q^2$$

siendo:

h_p : Incremento de altura manométrica (m.c.a.).

Q: Caudal que circula por la bomba (m³/s).

C, B, A: Coeficientes calculados.

El término de Q acostumbra a suprimirse debido a que representa la parte ascendente de la gráfica lejos de los puntos de funcionamiento recomendados para la bomba, con lo que la ecuación quedará:

$$h_p = C - A \cdot Q^2$$

El coeficiente C será siempre positivo por representar la altura de la bomba a caudal nulo. El término AQ^2 lleva signo negativo por la concavidad hacia abajo de la curva. El programa permite tanto la introducción directa de estos coeficientes para modelizar la bomba a comprobar en la instalación, como la introducción de puntos caudal-altura obtenidos en las gráficas de los catálogos.

Bajo la lista donde se deben introducir los puntos, el diálogo muestra la curva de ajuste realizada por el método de los mínimos cuadrados. Los puntos deben introducirse por orden de caudales crecientes y alturas decrecientes. Si los parámetros obtenidos del ajuste de puntos resultaran estar fuera de los límites normales, no se dibujará en el gráfico la curva de la bomba.

ATENCIÓN: Para situar una bomba en una tubería que va por un terreno inclinado, con cotas en sus nudos diferentes, hay que tener en cuenta que la altura piezométrica de la bomba se calcula con la presión que le llegue, más su cota de terreno real. Las bombas suelen instalarse en el punto más bajo de la instalación para evitar problemas de cebado.

1.1.3.5. Resolución del sistema mallado

Para resolver el sistema mallado, se emplea una variante del método de los elementos finitos discretizado.

Se considera el modelo de la conducción como una matriz de rigidez [K] para cada uno de los elementos de la red:

$$[K] = G^{(e)} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

siendo,

$G^{(e)}$: factor que relaciona la caída de presión en el elemento e con el caudal circulante de forma lineal.

Denominamos a $G^{(e)}$ factor de rigidez del elemento e.

Se realiza posteriormente el ensamblado de las matrices de rigidez de la instalación en una sola matriz, cuya inversión se aborda por métodos frontales.

Gracias a este método, es posible resolver indistintamente sistemas mallados, ramificados o mixtos, con uno o varios puntos de suministro a presión fija.

1.1.3.6. Diseño (Opción Dimensionar)

Si, después del cálculo, existen tramos o nudos que no cumplan todas las limitaciones impuestas, se puede recurrir a un predimensionado óptimo automático.

Debido a la complejidad en el comportamiento de sistemas mallados, unido a la no linealidad y necesidad de iteración que presentan las instalaciones hidráulicas, el di-

mencionado debe realizarse por el método de prueba y rectificación.

Al predimensionar, el programa tratará de optimizar y seleccionar el diámetro mínimo que cumpla todas las restricciones (velocidad, presión).

Para iniciar el dimensionamiento, se establece el diámetro de cada uno de los tramos al menor de la serie del material asignado.

Hay que hacer notar que no se alterará durante el dimensionamiento el material del tramo, ya que las variaciones en el material empleado en una obra suelen ser limitaciones impuestas al diseño por factores externos o normas.

El cálculo de esta primera iteración proporciona una serie de desviaciones sobre los límites establecidos en velocidades y presiones.

El tramo que se encuentra en peores condiciones, es decir, cuya desviación sobre los límites de velocidad sea la mayor, es modificado de la siguiente forma:

- Si la velocidad del fluido es mayor que el límite máximo, se aumenta el diámetro.
- Si la velocidad del fluido es menor que el límite mínimo, se disminuye el diámetro.

En caso de encontrarnos con oscilaciones, es decir, que no exista una solución que contemple los dos límites, automáticamente se quitará la condición menos restrictiva a nivel técnico, es decir, la velocidad mínima.

Una vez los tramos cumplen condiciones, se comprueba si existen nudos que no cumplan con las condiciones de presión máxima y mínima. En caso de existir, se modificará el diámetro de las conducciones más cargadas, es decir, aquellas con una pérdida de carga unitaria mayor. Otra vez, en caso de encontrar soluciones imposibles de alcanzar, el sistema eliminará automáticamente la condición de presión máxima.

Debe tener en cuenta que el dimensionamiento de instalaciones con válvulas de control de caudal o de presión, se realizará de la misma forma. Esto hará que al obtener el diámetro óptimo para la tubería es posible que las presiones y caudales de la instalación sean inferiores a las de tarado y por tanto dejen de ser necesarias las válvulas.

1.1.3.7. Unidades

El programa solicita los datos en una serie de unidades, si bien internamente utiliza las unidades requeridas por la formulación. Estas son las unidades empleadas (tabla 1.6):

Magnitud	Petición y resultados	Operación
L (Longitud)	metros (m)	metros (m)
D (Diámetro)	milímetros (mm)	metros (m)
R (Rugosidad)	milímetros (mm)	metros (mm)
Q (Caudal)	litros por segundo (l/s) ó (m ³ /h)	metros cúbicos por segundo (m ³ /s)
H (Altura piezométrica)	metros columna de agua (m.c.a.)	metros columna de agua (m.c.a.)
v (Velocidad)	metros por segundo (m/s)	metros por segundo (m/s)
ν (Viscosidad cinemática)	metros cuadrado por segundo (m ² /s)	metros cuadrado por segundo (m ² /s)

Tabla 1.6

1.2. Memoria de Alcantarillado

1.2.1. Introducción

El objetivo fundamental en el diseño de una red de saneamiento es evacuar el agua desde los pozos de recogida hasta el punto de vertido.

El problema puede abordarse desde dos puntos de vista diferentes, a saber:

- **Diseño**

Suele ser el caso más habitual, en el que a partir de una serie de datos de agua recogida y topografía se desea obtener las dimensiones adecuadas de las conducciones.

- **Comprobación**

A partir de una instalación ya diseñada, se desea conocer si cumple con las limitaciones de diseño impuestas o consideradas a juicio del técnico.

Tanto si se desea diseñar como si se quiere comprobar, debe tener en cuenta las siguientes pautas:

- **Exigencias de caudal a evacuar.** Es necesario respetar una serie de condicionantes tanto en recogida de aguas negras (fecales) como de aguas pluviales.
- **Facilidad de construcción.** El empleo de materiales, diámetros y otros elementos fácilmente disponibles en el mercado, que se ajusten a las normas en dimensiones y en comportamiento.
- **Mantenimiento.** Conseguir un buen funcionamiento de la instalación para evitar un excesivo y costoso mantenimiento correctivo, facilitando el mantenimiento preventivo, es fundamental.
- **Economía.** No basta que la instalación funcione. Ésta debe comportar, además, un coste razonable evitando en lo posible sobredimensionar.

Una vez recogidos todos los datos necesarios, se efectúa el cálculo con respecto a la formulación adecuada en cada caso.

1.2.2. Datos previos

1.2.2.1. Condiciones de recogida

Son necesarios varios datos a la hora de calcular una instalación. Estos datos son, en definitiva, los que marcarán el comportamiento de la misma.

1.2.2.1.1. Caudales recogidos por la red

Generalmente, éste es el principal condicionante en el funcionamiento de la instalación. Para calcular los caudales recogidos en cada pozo, se parte de dos fuentes:

- **Aguas negras (fecales).** Son las generadas como consecuencia del desarrollo de actividades urbanas, industriales, etc. Este aporte puede estimarse más fácilmente debido a que su valor está muy ligado al consumo de agua potable.
- **Aguas pluviales.** Procedentes de la recogida del agua de lluvia, su estimación es más compleja. Por lo general, genera mayores volúmenes de agua trasegada.

Adicionalmente, el cálculo de caudales aportados depende también del tipo de red de saneamiento:

- **Redes mixtas.** Recogen tanto aguas negras como pluviales. El cálculo se realiza en base a dos condiciones: Velocidad mínima con tan sólo el aporte de fecales, y velocidad máxima, sumando los aportes de pluviales y fecales.
- **Redes separativas.** Se establecen como redes independientes, y por tanto se calculan independientemente con los caudales recogidos bien para fecales, bien para pluviales.

En cualquier caso, las redes de saneamiento deben ser **ramificadas**, con **un solo punto de vertido**. Su funcionamiento debe ser, salvo casos que requieren un cálculo especial, en **lámina libre**. Existen métodos de cálculo para resolver redes malladas de saneamiento, pero su uso requiere una modelización de los entronques, y su validez es limitada.

El caudal a recoger en cada uno de los nudos de la instalación suele estimarse en base al tipo de suministro (urbano, industrial, rural...).

En el caso del consumo urbano, se suele ajustar éste dependiendo del número de habitantes de la ciudad implicada y del tipo de consumo (vivienda, hotel...).

De forma orientativa, en las tablas 1.7 y 1.8 se muestran valores habituales para proyectos.

Adicionalmente, hay que tener en cuenta no sólo los habitantes actuales de las zonas que se desea urbanizar, sino también realizar una previsión de un posible crecimiento de la población a la que habría que abastecer desde la red que estamos calculando.

De forma orientativa, se puede calcular la población futura como:

$$P = P_a (1 + \alpha)^t$$

siendo,

P: Población futura

P_a: Población del último censo

α: Tasa de crecimiento de la población

t: Tiempo transcurrido desde el último censo

Lugar de consumo	Tipo	Consumo diario
Viviendas	De ciudad pequeña	200 l/habitante
	De ciudad mediana	250 l/habitante
	De gran ciudad	300 l/habitante
	De población rural	150 l/habitante
	Rural aislada	500 l/habitante
Escuela	-	60 l/alumno
Hospital	-	500 l/cama
Cuartel	-	250 l/habitante
Camping	-	100 l/habitante
Oficinas	-	50 l/habitante
Hoteles	Según núm. estrellas	150 – 300 l/cama
Gimnasio	-	200 l/habitante

Tabla 1.7

Tipo de aparato	Caudal en l/s
Baño	0.30
Bidé	0.10
Boca de incendios equipada:	
Diámetro 25 mm	1.67
Diámetro 45 mm	3.00
Hidrante 100 mm	10.00
Ducha	0.20
Fregadero:	
Vivienda particular	0.20
Restaurante / Hotel	0.30
Lavadora automática	0.20
Lavabo	0.10
Urinario:	
Con control	0.10
Flujo continuo	0.05
Boca de riego (∅ 25 mm)	1.00
W.C.:	
Con depósito	0.10
Con fluxor	2.00

Tabla 1.8

Los caudales calculados en los pozos de recogida para la red de saneamiento, son los mismos que deberán aparecer en los caudales consumidos en la red de agua.

Hay que tener en cuenta que las redes de agua potable deben siempre diseñarse e instalarse por encima de las redes de saneamiento, para evitar contaminación del agua potable en caso de rotura o fuga en las instalaciones de saneamiento.

Una vez determinado el caudal de consumo en cada nudo, debe introducir una consideración de puntas de consumo, que repercutirá en el caudal a evacuar.

Generalmente, y como recomendación del M.O.P.U. en su instrucción para la redacción de proyectos de abastecimiento y saneamiento, se considera el caudal punta obtenido a lo largo de 10 horas como 2.4 veces el caudal considerado en la estimación.

En algunos casos, puede ser interesante el uso de un coeficiente que incremente o reduzca, de forma general, los aportes de una red. De esta forma es posible simular funcionamiento estacionales o con menores ocupaciones.

Este coeficiente sólo se aplica en el momento de cálculo sobre los caudales aportados a los nudos.

1.2.2.1.2. Aportes distribuidos

En casos especiales puede ser de gran utilidad en el diseño simular los aportes a la red como distribuidos linealmente a lo largo de un tramo de conducción, en lugar de añadir un gran número de pozos de recogida.

Esto da una primera estimación de la instalación con una rápida introducción de los caudales aportados a lo largo de un tramo de gran longitud de conducción.

De los resultados gráficos se puede comprobar a partir de qué punto la conducción entra en carga y dividir el tramo en dos con los diámetros o las pendientes más adecuadas.

El aporte de caudal uniforme se debe indicar en unidades por metro lineal de conducción.

1.2.2.1.3. Infiltración

El factor de infiltración define aportes lineales en las conducciones debidas a la porosidad (ya sea natural, por mala conservación, fisuración o intencionada).

Esta puede definirse a nivel general y aplicable a todos los tramos de la obra, o bien a nivel particular para un determinado tramo en el que se quiera aplicar un nivel diferente de infiltración.

Los niveles de cálculo de infiltración en redes pueden estimarse entre 0.0058 l/s (0.5 m³/día) por cm de diámetro y km lineal de conducción para conducciones nuevas y 0.0463 l/s (4 m³/día) por cm de diámetro y km lineal de conducción para conducciones mal conservadas.

1.2.2.1.4. Vertederos

El vertedero es el punto final donde llega toda el agua evacuada por la red de saneamiento. Dichos puntos pueden ser:

- **Bombeos.** Arquetas donde el agua recogida es bombeada a presión, generalmente hasta una planta de tratamiento de aguas residuales.
- **Emisarios.** Tramos de tubería que se adentran en el mar y llevan el agua hasta puntos alejados de la costa. El emisario requiere un cálculo especial que no es objeto de este programa, por tanto, el punto de vertido se encontrará en la acometida y no en el extremo del propio emisario.

- **Redes de saneamiento existentes.** Es la situación más habitual, en la que nuestra red de urbanización desemboca en la red general de saneamiento urbano.

Las instalaciones de saneamiento deben tener un solo punto de vertido.

1.2.2.1.5. Velocidad en las conducciones

Las principales limitaciones a la hora de dimensionar una red de saneamiento son:

- **Calado.** El agua debe circular por la conducción en lámina libre. Si es necesario el trabajo en carga de la conducción, el tramo afectado debe calcularse como un tramo de agua a presión.

Un tramo cuyo calado exceda la dimensión vertical máxima de la conducción entra en carga y, por tanto, los cálculos de velocidad no son válidos en él.

- **Velocidad mínima.** Se suele emplear como límite inferior de velocidad 0.5 m/s, a menos que exista una limitación de diámetro mínimo que impida el cumplimiento de esta velocidad en algunos tramos, ya que por debajo de 0.5 m/s tienen lugar procesos de sedimentación y estancamiento.
- **Velocidad máxima.** La velocidad máxima suele estar comprendida entre 2 y 5 m/s, para evitar fenómenos de erosión y ruidos.

1.2.2.2. Conducciones

El funcionamiento de una instalación de saneamiento depende en gran medida del tipo, geometría y tamaño de las conducciones empleadas.

1.2.2.2.1. Materiales

Una rugosidad menor del material implica mayor velocidad en el tramo.

Determinan la rugosidad superficial del tubo con la que se va a encontrar el agua.

La forma de expresar la rugosidad depende, en gran medida, del tipo de formulación que vaya a emplear.

En el caso más extendido, la fórmula de Manning-Strickler, los valores recomendados en la práctica quedan recogidos en la tabla 1.9.

En el caso de la fórmula de Prandtl-Colebrook, se utilizan los valores de la rugosidad absoluta, en metros (Tabla 1.10).

Si se va a emplear la fórmula de Tadini, no se requiere ningún valor específico del material.

En caso de optar por la fórmula de Bazin los valores son los indicados en la tabla 1.11.

Si se utiliza la fórmula de Sonier, véase la tabla 1.12.

Para la fórmula de Kutter, los valores del coeficiente de rugosidad son los de la tabla 1.13.

La fórmula de Ganguillet – Kutter utiliza el mismo factor que la fórmula de Manning – Strickler (Tabla 1.9).

Superficie	Óptimo	Bueno	Mediano	Malo
Tubo				
Hierro fundido sin recubrir	0.012	0.013	0.014	0.015
Hierro fundido recubierto	0.011	0.012	0.013	0.014
Hierro forjado comercial, negro	0.012	0.013	0.014	0.015
Hierro forjado comercial, galvanizado	0.013	0.014	0.015	0.017
Hormigón	0.012	0.013	0.015	0.016
Vidrio y latón, lisos	0.009	0.010	0.011	0.013
Soldados y de barra, lisos	0.010	0.011	0.013	0.014
Acero en espiral y roblonado	0.013	0.015	0.017	0.018
Vitrificado para alcantarillas	0.010	0.013	0.015	0.017
Drenaje arcilla común, juntas abiertas	0.011	0.012	0.014	0.017
Construido <i>in situ</i>				
Mampostería de ladrillo vitrificado	0.011	0.012	0.013	0.015
Ladrillo y mortero, alcantarillas ladrillo	0.012	0.013	0.015	0.017
Superficies de cemento sin arena	0.010	0.011	0.012	0.013
Superficies de mortero de cemento	0.011	0.012	0.013	0.015
Tubo de duelas de madera	0.010	0.011	0.012	0.013
Canalones de tabloncillos acepillados	0.010	0.012	0.013	0.014
Canalones de tabloncillos sin acepillar	0.011	0.013	0.014	0.015
Canalones con listones	0.012	0.015	0.016	0.018
Canales revestidos de hormigón	0.012	0.014	0.016	0.018
Superficie de cascote de cemento	0.017	0.020	0.025	0.030
Superficie de cascote	0.025	0.030	0.033	0.035
Superficie de piedra labrada	0.013	0.014	0.015	0.017
Canales y acequias				
Canalones semicirc. metal, liso	0.011	0.012	0.013	0.015
Canalones semicirc. metal, ondulados	0.023	0.025	0.028	0.030
Acequias de tierra, rectas y uniformes	0.017	0.020	0.023	0.025
Acequias excav. en roca, lisas	0.025	0.030	0.033	0.035
Acequias excav. en roca, melladas	0.035	0.040	0.045	0.050
Acequias serpenteantes moderadas	0.023	0.025	0.028	0.030
Canales dragados en la tierra	0.025	0.028	0.030	0.033
Canales lecho pedregoso, maleza	0.025	0.030	0.035	0.040
Fondo de tierra, márgenes de cascote	0.028	0.030	0.033	0.035
Cursos naturales				
Limpios, márgenes rectas	0.025	0.028	0.030	0.033
Márgenes rectas, algunos matorrales	0.030	0.033	0.035	0.040
Serpenteantes limpios	0.033	0.035	0.040	0.045
Serpenteantes profundos	0.040	0.045	0.050	0.055
Serpenteantes, matorrales y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
Serpenteantes profundos con piedras	0.045	0.050	0.055	0.060
Tramos perezosos enmalezados	0.050	0.060	0.070	0.080
Tramos perezosos muy enmalezados	0.075	0.100	0.125	0.150

Tabla 1.9

Material	Rugosidad absoluta ϵ (m)
Gres	0.00010 – 0.00025 m
PVC	0.00010 – 0.00025 m
PRV	0.00020 – 0.00050 m
Fibrocemento	0.00025 – 0.00040 m
Fundición recubierta	0.00040 – 0.00080 m
Hormigón normal	0.00080 – 0.00150 m
Hormigón rugoso	0.00120 – 0.00400 m

Tabla 1.10

Tipo pared de conducción	Coef. Bazin γ
Paredes muy lisas (madera acepillada, enlucido de cemento, fibrocemento)	0.06
Paredes lisas (piedra tallada, ladrillos, hormigón)	0.16
Paredes poco lisas (mampostería, adoquines)	0.46
Paredes de naturaleza mixta (taludes alisados)	0.85
Canales en tierra normales (fondo y taludes sin irregularidades)	1.30
Canales en tierra con irregularidades (fondos de cantos rodados, paredes con vegetación o piedras)	1.75

Tabla 1.11

Tuberías	Factor de fricción de Sonier f_s
Enlucidas de cemento	0.00103
De hormigón	0.00214

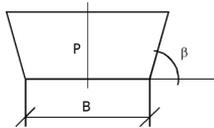
Tabla 1.12

Sección	Naturaleza paredes	Coef. Kutter (m)
Circular	Plástico, fibrocemento	0.10 – 0.15
	Cemento liso, tablas acepilladas	0.15 – 0.20
	Hormigón liso de alta calidad	0.20 – 0.25
	Hormigón liso de calidad media	0.30 – 0.35
Rectangular	Tablas acepilladas y bien ensambladas	0.15 – 0.20
	Tablas no cepilladas, piedra tallada, enlucidos ordinarios de cemento	0.25 – 0.30
	Mampostería de piedra o ladrillo, cuidada	0.30 – 0.35
	Mampostería de piedra o ladrillo, normal	0.40 – 0.45
	Mampostería de piedra o ladrillo, encachada	0.50 – 0.55
	Mampostería rugosa con juntas encenagadas	0.60 – 0.75
Trapezoidal	Mampostería deteriorada con juntas encenagadas	0.90 – 1.00
	Pequeños canales en roca o tierra, regulares sin vegetación	1.25 – 1.50
	Canales en tierra, mal cuidados, con vegetación, cursos regulares	1.75 – 2.00
	Canales en tierra, sin cuidar, cursos naturales con fangos y plantas	2.00 – 2.50

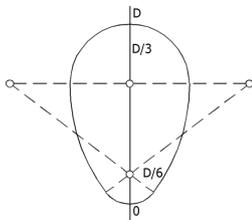
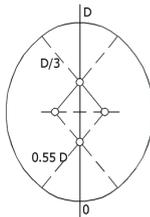
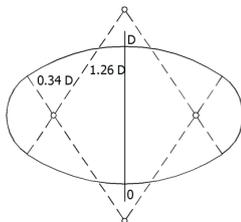
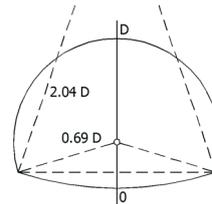
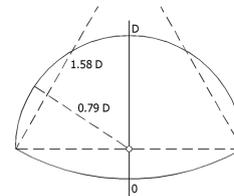
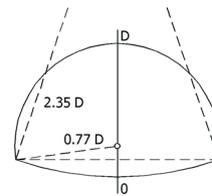
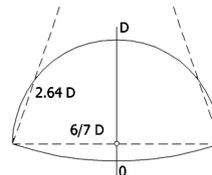
Tabla 1.13

1.2.2.2.2. Geometría

En algunos casos, es conveniente utilizar otro tipo de geometría diferente a la circular. Puede utilizarse:

Sección trapezoidal

siendo B la base del trapecio, β el ángulo de la pared, P el calado máximo

Sección ovoide**Sección oval vertical****Sección oval horizontal****Sección herradura 1****Sección herradura 2****Sección herradura 3****Sección herradura 4**

Siendo D la dimensión considerada como diámetro base.

1.2.2.2.3. Diámetros

El tratamiento de los materiales se realiza a través del uso de bibliotecas, de las cuales se obtienen los materiales a emplear en las obras. Cada uno de estos materiales aporta su coeficiente junto con una serie de dimensiones de canalización. Estas bibliotecas son definibles por el usuario, que puede modificar los coeficientes, así como quitar o añadir diámetros a la serie.

Para cada material, existen predefinidas series de diámetros normalizados. Estos tienen, habitualmente, la notación 'DN' junto con la dimensión aproximada de su diámetro en milímetros.

Diámetros mayores disminuyen la velocidad de circulación y la posibilidad de entrar en carga, pero encarecen el coste de la instalación, con el riesgo añadido de tener velocidades excesivamente bajas.

Un 'DNx' no significa que el diámetro interior de la conducción sea de x milímetros. Probablemente sea menor, pero debe consultarse en cualquier caso. Los materiales predefinidos procedentes de las bibliotecas contemplan esta diferencia y puede consultarse directamente en la propia biblioteca o en el momento de asignar el diámetro a cada tramo. Para los materiales creados o editados, deberá ser el propio usuario quien designe el diámetro interior de la conducción..

1.2.2.3. Excavaciones

Las conducciones de saneamiento en urbanización se instalan, por lo general, enterradas. Para ello, suelen excavar-se zanjas que acogen las conducciones.

La forma de la zanja, el volumen de excavación y otra serie de factores pueden resultar interesantes a la hora de calcular una instalación.

1.2.2.3.1. Características del terreno

La forma en que será excavada la zanja depende en gran medida de las características del terreno donde se enterrará la conducción. Para ello, deben conocerse los terrenos en los que se va a excavar y algunas características propias del proceso de instalación de la conducción:

- **Talud.** Representa la máxima inclinación de una pared excavada en un terreno con la suficiente solidez como para no desmoronarse. Se suele expresar en metros de apertura horizontal por cada metro excavado verticalmente.
- **Distancia lateral.** Distancia mínima que deberá separarse la conducción de las paredes de la zanja.
- **Ancho mínimo.** Por algún tipo de limitaciones mecánicas, no se pueden construir zanjas con anchos excesivamente pequeños. En caso de que la conducción sea de pequeño diámetro y junto con las distancias laterales no se complete o supere el ancho mínimo, se toma este ancho mínimo como ancho de cálculo.
- **Lecho.** Distancia entre el suelo de la zanja y la base de la conducción. Suele rellenarse con arena, aunque es también posible encontrar lechos de hormigón en algunos casos.
- **Relleno.** Una vez depositada la conducción sobre el lecho, se rellena con arena hasta cubrir la conducción. Llamaremos distancia de relleno al espesor de arena por encima de la conducción.

1.2.2.3.2. Medición

Para realizar el cálculo de excavación, es necesario disponer de información sobre las profundidades de excavación. Deberá disponerse, por tanto, de:

- **Cota del terreno.** Es la cota a la que queda el terreno modificado, es decir, el terreno una vez explanado, sobre el que se va a realizar la excavación.
- **Cota de la rasante.** Es la cota a la que quedará la superficie tras haber cerrado las zanjas y construido el firme sobre el terreno.
- **Profundidad de enterramiento de la conducción.** Puede cambiar a lo largo de la conducción. Debe indicarse la profundidad de los extremos de la conducción.
- **Profundidad del pozo.** Se considera como el fondo del pozo medida desde la cota de rasante. Debe ser mayor o igual que la mayor profundidad de los tramos confluyentes. Existe la posibilidad, dejando a 0 este valor, de que el programa calcule este valor de forma automática.

Es habitual que el espesor del paquete de firme sea constante para toda una obra, por lo que tan sólo serían necesarias las cotas de rasante, deduciendo el terreno como la cota de rasante menos el espesor del firme. Si no existe firme (espesor = 0), coincidirán rasante y terreno.

Todo esto es válido en obras nuevas, ya que si se trata de reparaciones o modificaciones sobre calles ya existentes, pueden existir diferencias en la medición, al existir dos estratos de características diferentes a efectos de excavación.

1.2.2.3.3. Limitaciones

Debido a la situación bajo tierra de diferentes tipos de instalaciones (tales como electricidad, agua, gas, telefonía...), suele existir una limitación de profundidad mínima que debe respetarse para evitar colisiones con otras instalaciones.

Esta profundidad mínima se mide desde la cota de rasante hasta la cara superior de la conducción.

Respetando estas profundidades mínimas, se facilita que en futuras excavaciones no se produzcan roturas accidentales de la conducción.

1.2.3. Cálculo (Opción: Calcular)

Una vez recogidos los datos de partida, se procede al cálculo de la instalación, de acuerdo con los tipos de conducciones, diámetros y caudales aportados. Para ello se emplean la formulación y el método de resolución que se detallan a continuación.

1.2.3.1. Formulación

En el caso de instalaciones de saneamiento, se utiliza el método de recuento de caudales desde los aportes hasta el vertedero.

Por ello, la red debe ser ramificada y con un solo suministro.

Debido a la diversidad de fórmulas utilizadas en el cálculo de conducciones de saneamiento y a las costumbres locales en el uso de las mismas, es posible utilizar cualquiera de las fórmulas indicadas.

Estas fórmulas nos proporcionan un cálculo aproximado, ya que suponen un régimen de circulación uniforme en todo el trayecto, lo cual es prácticamente imposible en conducciones reales.

1.2.3.1.1. Fórmula de Prandtl-Colebrook

Parte de la fórmula de Darcy-Weisbach para conducciones a presión:

$$l = f \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot D}$$

siendo:

l: Pérdida de carga (m.c.a.) por metro de conducción. Si la conducción trabaja en lámina libre, al no existir presión en la conducción, la pérdida de carga es tan sólo debida a pérdida de cota geométrica. La pérdida de cota geométrica por unidad de longitud de conducción es la pendiente de la solera de la conducción.

f: Factor de fricción de Darcy – Weisbach.

v: Velocidad del fluido que circula por la conducción (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).

D: Diámetro interior de la conducción (m).

El factor de fricción f es función de:

- **El número de Reynolds (Re)**. Representa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en la tubería.

Cuando las fuerzas viscosas son predominantes (Re con valores bajos), el fluido discurre de forma laminar por la tubería.

Cuando las fuerzas de inercia predominan sobre las viscosas (Re grande), el fluido deja de moverse de una forma ordenada (laminarmente) y pasa a régimen turbulento, cuyo estudio en forma exacta es prácticamente imposible.

Cuando el régimen es laminar, la importancia de la rugosidad es menor respecto a las pérdidas debidas al propio comportamiento viscoso del fluido que en régimen turbulento.

Por el contrario, en régimen turbulento, la influencia de la rugosidad se hace más patente.

- **Rugosidad relativa (ϵ/D)**. Traduce matemáticamente las imperfecciones del tubo.

En el caso del agua, los valores de transición entre los regímenes laminar y turbulento para el número de Reynolds se encuentran en la franja de 2000 a 4000, calculándose como:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

siendo:

v: La velocidad del fluido en la conducción (m/s).

D: El diámetro interior de la conducción (m).

ν : La viscosidad cinemática del fluido (m²/s).

Es aconsejable el uso de la ecuación de Colebrook-White para el cálculo del factor de fricción:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

que debe iterarse para poder llegar a un valor f, debido al carácter implícito de la misma, y donde:

f: Factor de fricción.

ϵ : Rugosidad absoluta del material (m).

D: Diámetro interior de la conducción (m).

Re: Número de Reynolds.

Como parámetros se supone:

Viscosidad cinemática del fluido: 1.31e-6 m²/s.

Si se elimina f en las dos fórmulas, se obtiene:

$$v = -2 \cdot \sqrt{2 \cdot gDI} \cdot \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3,71D} + \frac{2,51\nu}{D \cdot \sqrt{2 \cdot gDI}} \right)$$

válida para conducciones a sección llena.

Para secciones circulares, se utiliza el coeficiente corrector de Thormann-Franke basado en el ángulo de llenado:

$$W = \frac{V_p}{V} = \left[\frac{2\beta - \operatorname{sen}2\beta}{2(\beta + \gamma \operatorname{sen}\beta)} \right]^{0,625}$$

donde:

V: Velocidad a sección llena.

V_p : Velocidad a sección parcialmente llena.

2β : Arco de la sección mojada.

γ : Coeficiente de Thormann que representa el rozamiento entre el líquido y el aire del interior del conducto, calculándose de la siguiente forma:

$$\eta = \frac{y}{D} \leq 0,5 \Rightarrow \gamma = 0$$

$$\eta = \frac{y}{D} > 0,5 \Rightarrow \gamma = \frac{\eta - 0,5}{20} + \frac{20 \cdot (\eta - 0,5)^3}{3}$$

y: Calado del líquido.

D: Diámetro interior de la conducción.

El único inconveniente en la fórmula de Prandtl-Colebrook es su limitación a conductos circulares, ya que la obtención de coeficientes correctores no es habitual en otras secciones.

1.2.3.1.2. Formulación general de Chezy

La expresión de Chezy agrupa gran parte de las fórmulas aproximadas de cálculo de conducciones de cualquier sección parcialmente llenas:

$$v = C \cdot R_h^a \cdot I^b$$

siendo:

v: Velocidad del fluido en la conducción (m/s).

C, a, b: Valores específicos según las diferentes formulaciones.

R_h : Radio hidráulico, obtenido como la sección de agua dividida por el perímetro mojado (m).

I: Pendiente de la solera de la conducción (m/m).

1.2.3.1.3. Fórmula de Manning-Strickler

Posiblemente la fórmula más utilizada para el cálculo de saneamiento, se expresa como:

$$v = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}; \quad Q = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot A_h$$

siendo:

A_h : Sección de fluido (m²).

n: Coeficiente de Manning. Este valor depende del material (ver el punto Materiales) y de la geometría de la canalización, si bien suele despreciarse esta última influencia.

1.2.3.1.4. Fórmula de Tadini

Es de las más antiguas. Su sencillez llega al extremo de no requerir ningún parámetro del material empleado:

$$v = 50 \cdot \sqrt{R_h \cdot I}$$

1.2.3.1.5. Fórmula de Bazin

Es bastante utilizada en Francia y su expresión es:

$$v = \frac{87 \cdot R_h \cdot \sqrt{I}}{\gamma + \sqrt{R_h}}$$

donde,

γ : Coeficiente de rugosidad de Bazin, que depende de la naturaleza de las paredes (ver el punto Materiales).

1.2.3.1.6. Fórmula de Sonier

Viene dada por la expresión:

$$v = \frac{3,135}{\sqrt{f_s}} \cdot R_h^{0,65} \cdot \sqrt{I}$$

donde,

f_s : Factor de fricción de Sonier (ver el punto Materiales).

1.2.3.1.7. Fórmula de Kutter

Bastante utilizada en Alemania y Bélgica:

$$v = \frac{100 \cdot R_h \cdot \sqrt{I}}{m + \sqrt{R_h}}$$

donde,
m: Coeficiente de rugosidad de Kutter (ver el punto Materiales).

1.2.3.1.8. Fórmula de Ganguillet – Kutter

Empleada antiguamente en Alemania y en Estados Unidos:

$$v = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{I}\right) \cdot \frac{n}{R_h}}$$

donde,
n: Coeficiente de Ganguillet – Kutter, que coincide con el coeficiente de Manning (ver el punto Materiales).

1.2.3.2. Conducciones con aportes distribuidos

Para la resolución de un tramo con aporte uniforme se realiza una discretización de los caudales aportados por metro lineal en pequeños consumos puntuales.

La introducción de esta discretización incrementa el número de nudos que tiene la instalación y, por tanto, el número de ecuaciones del sistema.

Esto implica un aumento en el tiempo de cálculo similar al producido por la introducción manual de cada uno de los pozos generados por dicha discretización.

Una vez obtenida la solución del sistema de ecuaciones para los subtramos, se obtiene un caudal variable lineal-

mente con la longitud del tramo y las curvas correspondientes al calado y la velocidad, que podrán variar su trayectoria en función de si la conducción llega a entrar en carga.

1.2.3.3. Diseño (Opción: Dimensionar)

Si después de efectuar el cálculo, existen tramos y/o nudos que no cumplan con todas las limitaciones impuestas, se puede recurrir a un predimensionado óptimo automático.

Al utilizar series de diámetros normalizados y tener diferentes geometrías en la sección, junto con el carácter implícito de la mayor parte de las fórmulas, se recurre al método de prueba y rectificación para el predimensionado.

Al predimensionar, el programa tratará de optimizar y seleccionar el diámetro mínimo que cumpla todas las restricciones (velocidad, calado).

Para iniciar el predimensionado, se establece el diámetro de cada uno de los tramos al menor de la serie del material asignado.

Hay que hacer notar que no se alterará durante el predimensionado el material del tramo, ya que las variaciones en el material empleado en una obra suelen ser limitaciones impuestas al diseño por factores externos o normas.

El cálculo de esta primera iteración proporciona una serie de desviaciones sobre los límites establecidos en velocidades y calados.

Cualquier tramo que se encuentre que no cumpla las condiciones de calado, se aumenta y se recalcula hasta que, si las series y caudales lo permiten, ningún tramo entre en carga.

A partir de ese punto, se comprueban las velocidades de la instalación.

El tramo que se encuentra en peores condiciones, es decir, cuya desviación sobre los límites de velocidad sea la mayor, es modificado de la siguiente forma:

- Si la velocidad del fluido es mayor que el límite máximo, se aumenta el diámetro.
- Si la velocidad del fluido es menor que el límite mínimo, se disminuye el diámetro.

En caso de existir oscilaciones, es decir, que no exista una solución que contemple los tres límites, automáticamente se quitará la condición menos restrictiva a nivel técnico, es decir, la velocidad mínima.

1.2.3.4. Unidades

El programa solicita los datos en una serie de unidades, si bien internamente utiliza las unidades requeridas por la formulación. Estas son las unidades empleadas:

Magnitud	Petición y resultados	Operación
L (Longitud)	metros (m)	metros (m)
D (Diámetro)	milímetros (mm)	metros (m)
R (Rugosidad)	metros (m)	metros (m)
Q (Caudal)	litros por segundo (l/s) ó (m ³ /h)	metros cúbicos por segundo (m ³ /s)
v (Velocidad)	metros por segundo (m/s)	metros por segundo (m/s)
I (Pendiente)	Tanto por cien (%)	Tanto por uno (m/m)
ν (Viscosidad cinemática)	metros cuadrado por segundo (m ² /s)	metros cuadrado por segundo (m ² /s)

Tabla 1.14

1.3. Memoria de Electrificación

1.3.1. Introducción

El objetivo fundamental en el diseño de una red de suministro eléctrico es proporcionar la potencia requerida en cada punto de consumo. El problema puede abordarse desde dos puntos de vista:

- **Diseño**
Suele ser el caso más habitual, en el que a partir de una serie de datos de consumo se desea obtener las secciones adecuadas de los conductores eléctricos.
- **Comprobación**
A partir de una instalación ya diseñada, se desea conocer si cumple con las limitaciones de diseño impuestas por la reglamentación o consideradas a juicio del técnico.

Tanto si se desea diseñar como si lo que se quiere es comprobar, es necesario tener en cuenta las siguientes pautas:

- **Las condiciones de suministro de potencia a los puntos de consumo.** Es necesario respetar una serie de condicionantes, tales como caídas de tensión en los consumos o intensidades máximas en los cables.
- **Facilidad de construcción.** La utilización de materiales, secciones y otros elementos fácilmente disponibles en el mercado, que se ajusten a las normas en sus dimensiones y comportamiento.
- **Mantenimiento.** Conseguir un buen funcionamiento de la instalación para evitar un excesivo y costoso mantenimiento correctivo facilitando el mantenimiento preventivo, es fundamental.

- **Economía.** No sirve tan sólo con hacer que la instalación funcione. Esta debe comportar, además, un coste razonable evitando en lo posible sobredimensionar.

Una vez recogidos todos los datos necesarios, se efectúa el cálculo con respecto a la formulación adecuada en cada caso.

1.3.2. Datos previos

1.3.2.1. Condiciones del suministro

Son necesarios varios datos a la hora de calcular una instalación. Estos datos son, en definitiva, los que marcarán el comportamiento de la misma.

1.3.2.1.1. Consumos

Generalmente, éste es el principal condicionante en el funcionamiento de la red. Dependen en gran medida del tipo de instalación, siendo habituales tres tipos fundamentales a nivel de urbanización:

- **Red de media tensión.** Conecta los centros de transformación de la zona a urbanizar con la red existente de media tensión.
- **Red de baja tensión.** Distribuye la potencia desde los centros de transformación hasta los puntos de consumo en baja tensión.
- **Redes de alumbrado público.** Distribuyen la potencia necesaria para alimentar los puntos de luz que configuran la instalación.

Adicionalmente, hay que tener en cuenta no sólo los habitantes actuales de las zonas que se desea urbanizar, sino que también hay que realizar una previsión de un posible

crecimiento de la población a la que habría que abastecer desde la red que se está calculando.

De forma orientativa, se puede calcular la población futura como:

$$P = P_a (1 + \alpha)^t$$

siendo,

P: Población futura

P_a : Población del último censo

α : Tasa de crecimiento de la población

t: Tiempo transcurrido desde el último censo

En algunos casos, puede ser interesante el uso de un coeficiente que incremente o reduzca, de forma general, los consumos de una red. De esta forma es posible simular funcionamientos estacionales o con menores ocupaciones.

Este coeficiente sólo se aplica en el momento de cálculo sobre las potencias consumidas en los nudos.

1.3.2.1.2. Consumos distribuidos

En casos especiales puede ser de utilidad en el diseño simular los consumos de la instalación como distribuidos linealmente a lo largo de un tramo. La potencia se indica en kW por metro lineal de conducción.

Esto da una primera estimación de la instalación con una rápida introducción de los consumos. La resolución de casos como los de alumbrado público puede simplificarse con esta opción, sin necesidad de introducir tantos nudos de consumo como luminarias tenga la instalación.

1.3.2.1.3. Suministros de la red

Una red eléctrica recibe alimentación por uno o varios puntos. Dependiendo del tipo de red eléctrica, los suministros pueden ser:

- **Media tensión.** Centro de transformación, subestación o red de media tensión existente.
- **Baja tensión.** Centro de transformación o red de baja tensión existente.
- **Alumbrado.** Centro de transformación o red de baja tensión existente.

Las tensiones de suministro dependen de la franja a la que se distribuye. Baja tensión abarca desde 380 V (400 V) hasta los ya en desuso 125 V.

La distribución de energía eléctrica se realiza en trifásica aunque en algunas ocasiones, y para tensiones de 220 V ó 25 V, se puede realizar en monofásica. A partir de 380 V (en algunos países incluso a 220 V) se distribuye en trifásica.

1.3.2.1.4. Intensidad en los conductores

Una de las principales limitaciones a la hora de dimensionar una red eléctrica es la intensidad en los conductores.

Cada material, dependiendo de su composición, aislamiento e instalación, tiene una intensidad máxima admisible. Esta intensidad admisible es aquella que, circulando en régimen permanente por el cable, no causa daños en el mismo. Una intensidad superior a la intensidad admisible puede producir efectos como la fusión del material conductor o la pérdida de capacidad dieléctrica del aislante a causa de un deterioro del mismo por exceso de temperatura.

La intensidad admisible viene especificada en los reglamentos vigentes. En función del tipo de instalación, deben considerarse ciertos coeficientes reductores de la intensidad admisible (tipo de enterramiento, temperatura media del terreno, múltiples conductores en zanja...).

1.3.2.1.5. Tensión en los consumos

Cuando se diseña una red eléctrica es necesario asegurar en los consumos una tensión cercana a la tensión nominal de la red eléctrica.

El valor máximo de la caída de tensión en cualquier nudo de consumo con respecto a la tensión nominal de la instalación es de un 5% en redes de suministro y fuerza, y de un 3% en redes de alumbrado público.

1.3.2.2. Cables

El buen funcionamiento de una instalación eléctrica depende en gran medida del tipo y sección de los cables empleados.

1.3.2.2.1. Material conductor

Determina la resistencia eléctrica de los conductores. Prácticamente los dos únicos utilizados son el cobre y el aluminio.

La resistencia del conductor se expresa en Ω/km y forma parte de las características que proporciona el fabricante de los cables.

1.3.2.2.2. Aislamiento

Es esta característica la que proporciona dos parámetros básicos:

- **Tensión nominal.** El aislamiento determina el rango de tensión válido para su uso. Se indica esta tensión nominal de uso como el par tensión simple/tensión compuesta, es decir, tensión entre una fase y el neutro/tensión entre dos fases. Los espesores de los recubrimientos de los cables variarán en función de la capacidad dieléctrica del material aislante.

- **Reactancia.** La capacidad de aislamiento determina la reactancia de fase de un conductor, junto con la disposición del mismo (cable unipolar o tripolar), disposición de blindajes del cable y, en menor medida, distancia entre cables. La reactancia se mide en Ω_r/km y se proporciona con las características del cable. Es habitual despreciar este valor en instalaciones de baja tensión por su poca importancia en el cálculo.

1.3.2.2.3. Secciones

El tratamiento de las secciones se realiza a través del uso de bibliotecas, de las que se obtienen los materiales a emplear en las obras. Cada material aporta una serie de secciones junto con sus características eléctricas.

Estas bibliotecas son definibles por el usuario, que puede quitar o añadir secciones a la serie y modificar las características de cada sección.

Para cada material hay series predefinidas de secciones normalizadas. Se suele utilizar el número de conductores de fase como multiplicador de la sección.

Para trifásica, por ejemplo, se emplea '3xS', indicando tres conductores de fase de sección S. En otros casos puede convenir la forma '3xS+S_n', indicando adicionalmente la sección S_n del conductor de neutro.

De cada sección se puede definir:

- **Sección.** Sirve para que el programa ordene las secciones de forma creciente, facilitando el proceso de selección tanto manual como a nivel de predimensionado.
- **Resistencia por unidad de longitud.** La resistencia en Ω_r/km del conductor.
- **Reactancia por unidad de longitud.** La reactancia en Ω_r/km del conductor. Este valor es opcional en caso de redes de baja tensión y puede ser 0.

- **Intensidad admisible.** Indica en amperios (A) la intensidad máxima en régimen permanente que puede soportar el cable.

Secciones mayores proporcionan caídas de tensión menores en los conductores e incrementan la intensidad máxima admisible, pero encarecen el coste de la instalación, ya que se incrementa con la sección el volumen total de metal conductor.

1.3.2.2.4. Incremento de longitud

Es posible incrementar un porcentaje la longitud resistente del cable con respecto a su longitud real, si bien esta práctica no es habitual y tan sólo se justifica en casos especiales.

1.3.3. Cálculo (Opción: Calcular)

Una vez recogidos los datos de partida, se procede al cálculo de la instalación, de acuerdo con los tipos de cables, secciones, potencias demandadas y tensión de suministro.

Para ello se emplean la formulación y el método de resolución que se detallan a continuación.

1.3.3.1. Formulación

1.3.3.1.1. Cálculo eléctrico en régimen permanente

En el cálculo de instalaciones eléctricas se utiliza para la resolución del sistema de ecuaciones, sea mallado, ramificado o mixto, el método de los elementos finitos de forma discreta.

Como cargas, se utilizan las potencias consumidas en cada uno de los nudos, junto con el $\cos \varphi_{\text{local}}$ en dicho consumo. Para obtener la intensidad consumida en el nudo, se emplea:

$$I_{\text{Trifásica}} = \frac{P}{\sqrt{3}U_n \cdot \cos \varphi_{\text{nudo}}}$$

$$I_{\text{Monofásica}} = \frac{P}{U_n \cdot \cos \varphi_{\text{nudo}}}$$

donde,

I: Intensidad consumida en el nudo (A)

P: Potencia demandada (W)

U_n : Tensión nominal de la instalación. Para instalaciones tri-

fásicas se utiliza la tensión compuesta

$\cos \varphi_{\text{nudo}}$: Factor de potencia de la carga. Por lo general se

utilizará en la medida de lo posible el mismo factor de

potencia que se emplea a nivel general para toda la obra.

Puede modificarse puntualmente para penalizar el consumo de potencia en nudos con $\cos \varphi$ peores

Para la resolución de cada uno de los segmentos de la instalación se calculan las caídas de tensión, entre dos nudos conectados por un tramo, por medio de la ley de Ohm para corriente alterna:

$$\Delta U_{\text{Trifásica}} = \sqrt{3}L \cdot (R \cdot \cos \varphi_{\text{obra}} + X \cdot \text{sen} \varphi_{\text{obra}}) \cdot I$$

$$\Delta U_{\text{Monofásica}} = 2L \cdot (R \cdot \cos \varphi_{\text{obra}} + X \cdot \text{sen} \varphi_{\text{obra}}) \cdot I$$

siendo,

ΔU : Caída de tensión a lo largo del tramo (V)

L: Longitud resistente del tramo (m)

R: Resistencia por unidad de longitud del tramo (Ω/m)

$\cos \varphi_{\text{obra}}$: Factor de potencia global de la obra

X: Reactancia lineal del tramo (Ω_r/m)

$\text{sen} \varphi_{\text{obra}}$: Factor de potencia reactiva global de la obra.

I: Intensidad circulante por el tramo (A)

1.3.3.1.2. Cálculo de la corriente máxima de cortocircuito en tramos

Este tipo de cortocircuito sólo se calcula en redes ramificadas y con un solo suministro.

Se calcula para cada tramo la intensidad de cortocircuito que debe soportar provocando un cortocircuito en el nudo más cercano a la fuente de alimentación.

Este cortocircuito genera la máxima intensidad que debe soportar el cable del tramo, ya que un cortocircuito en cualquier otro punto del cable debería contar con la impedancia de la parte del tramo abarcada por el corto, reduciendo la intensidad.

De esta manera se contempla un cortocircuito justo en el punto inmediatamente después del nudo.

Para calcularlo se recurre a:

$$I_{cc} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \sqrt{(R_{cc} + R)^2 + (X_{cc} + X)^2}}$$

$$R_{cc} = \frac{\varepsilon_{R_{cc}} U_n^2}{S_n}$$

$$X_{cc} = \frac{\varepsilon_{X_{cc}} U_n^2}{S_n}$$

$$\varepsilon_{cc} = \sqrt{\varepsilon_{R_{cc}}^2 + \varepsilon_{X_{cc}}^2}$$

siendo,

I_{cc} : Intensidad de cortocircuito (A)

U_n : Tensión nominal (la que hay en la instalación un instante antes de producirse el cortocircuito) (V)

R_{cc} : Resistencia de cortocircuito del transformador (Ω)

X_{cc} : Reactancia de cortocircuito del transformador (Ω_r)

ε_{cc} , $\varepsilon_{R_{cc}}$, $\varepsilon_{X_{cc}}$: Porcentajes de tensión de cortocircuito. Se especifican en las características del transformador. Se expresan en %, pero se emplean en la formulación en tanto por uno

R: Resistencia de los cables que forman el camino desde la fuente de alimentación hasta el nudo donde se produce el cortocircuito (Ω)

X: Reactancia de los cables que forman el camino desde la fuente de alimentación hasta el nudo donde se produce el cortocircuito (Ω_r)

S_n : Potencia del transformador (VA)

1.3.3.1.3. Cálculo de la corriente de cortocircuito mínima

Este tipo de cortocircuito sólo se calcula en redes ramificadas y con un solo suministro. Se calcula para conocer la sensibilidad mínima de las protecciones que deben proteger la instalación. Se considera el cortocircuito en el punto más alejado de cada ramal, es decir, aquel que produce una intensidad menor cuando se genera un cortocircuito.

Para calcularlo se recurre a la fórmula:

$$I_{cc} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \sqrt{(R_{cc} + R)^2 + (X_{cc} + X)^2}}$$

$$R_{cc} = \frac{\varepsilon_{R_{cc}} U_n^2}{S_n}$$

$$X_{cc} = \frac{\varepsilon_{X_{cc}} U_n^2}{S_n}$$

$$\varepsilon_{cc} = \sqrt{\varepsilon_{R_{cc}}^2 + \varepsilon_{X_{cc}}^2}$$

siendo,

I_{cc} : Intensidad de cortocircuito (A)

U_n : Tensión nominal (la que hay en la instalación un instante antes de producirse el cortocircuito) (V)

R_{cc} : Resistencia de cortocircuito del transformador (Ω)

X_{cc} : Reactancia de cortocircuito del transformador (Ω_r)

ε_{cc} , $\varepsilon_{R_{cc}}$, $\varepsilon_{X_{cc}}$: Porcentajes de tensión de cortocircuito. Se especifican en las características del transformador. Se expresan en %, pero se emplean en la formulación en tanto por uno

R: Resistencia de los cables que forman el camino desde la fuente de alimentación hasta el nudo donde se produce el cortocircuito (Ω)

X: Reactancia de los cables que forman el camino desde la fuente de alimentación hasta el nudo donde se produce el cortocircuito (Ω_r)

S_n : Potencia del transformador (VA)

1.3.3.1.4. Cortocircuito en bornes de primario del transformador

Para cada nudo de alimentación de la red se calculan las corrientes de cortocircuito que generaría un cortocircuito en los bornes de primario del transformador. Esta intensidad permite calcular la línea de alimentación requerida para el transformador.

Para ello, se utiliza la fórmula:

$$I_{cc,p} = \frac{S_R}{\sqrt{3}U_p}$$

donde:

$I_{cc,p}$: Intensidad permanente de cortocircuito en el primario (A)

S_R : Potencia de cortocircuito de la red eléctrica. Los valores usuales suelen rondar los 350 MVA. Este valor es proporcionado por los servicios técnicos de la compañía eléctrica suministradora (VA)

U_p : Tensión nominal del primario del transformador (V)

La intensidad obtenida sería la intensidad permanente de cortocircuito, que se emplea para el estudio de los efectos a nivel térmico.

Se calcula la intensidad máxima de cortocircuito, que aparece en el instante inicial, como:

$$I_{cc,m\acute{a}x} = 2.5 I_{cc,p}$$

La intensidad de cortocircuito máxima permite estudiar fenómenos de tipo electrodinámico.

1.3.3.1.5. Cortocircuito en bornes de secundario del transformador

Para cada nudo de alimentación de la red se calculan las corrientes de cortocircuito que generaría un cortocircuito en los bornes de primario del transformador.

Este cálculo tiene dos variantes:

- **Suponiendo potencia infinita en el primario.** Proporciona valores mayores de intensidad de cortocircuito.
- **Suponiendo potencia finita en el primario.** Se obtienen intensidades de cortocircuito menores.

Para ello, en el caso de potencia infinita, se utiliza la fórmula:

$$I_{cc,s} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{cc}^2 + X_{cc}^2}} = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_{cc}}$$

$$R_{cc} = \frac{\epsilon_{R_{cc}} \cdot U_n^2}{S_n}$$

$$X_{cc} = \frac{\epsilon_{X_{cc}} \cdot U_n^2}{S_n}$$

$$\epsilon_{cc} = \sqrt{\epsilon_{R_{cc}}^2 + \epsilon_{X_{cc}}^2}$$

donde,

$I_{cc,s}$: Intensidad de cortocircuito en el secundario (A)

U_n : Tensión nominal, que es la tensión que hay en la instalación un instante antes de producirse el cortocircuito (V)

R_{cc} : Resistencia de cortocircuito del transformador (Ω)

X_{cc} : Reactancia de cortocircuito del transformador (Ω_r)

ϵ_{cc} , $\epsilon_{R_{cc}}$, $\epsilon_{X_{cc}}$: Porcentajes de tensión de cortocircuito.

Vienen especificados en las características del propio transformador (por lo general en su protocolo de ensayos). Se expresan en %, pero se emplean en la fórmula en tanto por uno

S_n : Potencia del transformador (VA)

En caso de suponer una potencia finita en el primario:

$$Z_t = 1 + \left(\frac{\epsilon_{cc} \cdot S_R}{S_n} \right)$$

$$S_{cc} = \frac{S_R}{Z_t}$$

$$I_{cc,s} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3}U_n}$$

donde S_R es la potencia de cortocircuito de la red eléctrica. Este valor es proporcionado por los servicios técnicos de la compañía eléctrica suministradora. Los valores usuales suelen rondar los 350 MVA (VA).

La intensidad obtenida sería la **intensidad permanente de cortocircuito**, que se emplea para el estudio de los efectos a nivel térmico. Se calcula la **intensidad máxima de cortocircuito**, que aparece en el instante inicial, como:

$$I_{cc,m\acute{a}x} = 2.5 I_{cc,s}$$

La intensidad de cortocircuito máxima permite estudiar fenómenos de tipo electrodinámico.

1.3.3.2. Instalaciones con consumos distribuidos

Para la resolución de un tramo con consumo uniforme se realiza una discretización de las potencias demandadas por metro lineal en pequeños consumos puntuales.

La introducción de esta discretización incrementa el número de nudos que tiene la instalación y, por tanto, el número de ecuaciones del sistema. Esto implica un aumento en el tiempo de cálculo similar al producido por la introducción manual de cada uno de los nudos generados por dicha discretización.

Una vez obtenida la solución del sistema de ecuaciones para los subtramos, se obtiene una intensidad variable linealmente con la longitud del tramo y una curva correspondiente a la tensión.

Hay que tener en cuenta que existe la posibilidad de encontrar tramos recorridos por la intensidad en dos sentidos, en los que el consumo distribuido es aportado desde los dos nudos extremos del tramo, encontrando a lo largo del mismo un punto de intensidad nula, correspondiente a una tensión mínima (máxima caída en el tramo).

1.3.3.3. Resolución del sistema mallado

Para resolver el sistema mallado se emplea una variante del método de los elementos finitos discretizado.

Se considera el modelo de la conducción como una matriz de rigidez $[K]$ para cada uno de los elementos de la red:

$$[K] = G^{(e)} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

siendo $G^{(e)}$ el factor que relaciona la caída de tensión en el elemento e con la intensidad circulante de forma lineal. Se denominará a $G^{(e)}$ factor de rigidez del elemento e

Se realiza posteriormente el ensamblado de las matrices de rigidez de la instalación en una sola matriz, cuya resolución se aborda por métodos frontales.

Gracias a este método es posible resolver indistintamente sistemas mallados, ramificados o mixtos, con uno o varios puntos de suministro a tensión fija.

1.3.3.4. Diseño (Opción: Dimensionar)

Si, después de efectuar el cálculo, existen tramos y/o nudos que no cumplen con todas las limitaciones impuestas, se puede recurrir a un predimensionado óptimo automático.

Debido a la complejidad en el comportamiento de sistemas mallados, el predimensionado debe realizarse por el método de prueba y rectificación.

Al predimensionar, el programa tratará de optimizar y seleccionar la sección mínima que cumpla todas las restricciones (intensidad, caída de tensión).

Para iniciar el predimensionado, se establece la sección de cada uno de los tramos al menor de la serie del material asignado.

No se alterará durante el predimensionado el material del tramo, ya que las variaciones en el material empleado en una obra suelen ser limitaciones impuestas al diseño por factores externos o normas.

El cálculo de esta primera iteración proporciona una serie de desviaciones sobre los límites establecidos en intensidades admisibles y caídas de tensión.

Se incrementa la sección del tramo que se encuentra en peores condiciones, es decir, cuya desviación sobre la intensidad admisible sea la mayor.

Una vez determinados los tramos, se comprueba si existen nudos que no cumplan con la condición de caída de tensión. En caso de existir, se modificará la sección de los cables más cargados, es decir, aquellos con una caída de tensión unitaria mayor ($\Delta U/L$).

1.3.3.5. Unidades

El programa solicita los datos en una serie de unidades, si bien internamente utiliza las unidades requeridas por la formulación. Las unidades empleadas se muestran en la siguiente tabla:

Magnitud	Petición y resultados	Operación
L (Longitud)	Metros (m)	Metros (m)
S (Sección de conductor)	Milímetros cuadrados (mm^2)	Metros cuadrados (m^2)
R (Resistencia)	Ohmios por kilómetro (Ω/km)	Ohmios por metro (Ω/m)
X (Reactancia)	Ohmios por kilómetro (Ω/km)	Ohmios por metro (Ω/m)
I (Intensidad)	Amperios(A)	Amperios(A)
V (Tensión eléctrica)	Voltios(V)	Voltios(V)
P (Potencia activa)	Kilovatios(kW)	Vatios(W)
Z_{cc} , R_{cc} , X_{cc} (Impedancia de cortocircuito)	Mili ohmios($\text{m}\Omega$)	Ohmios(Ω)
ϵ (Tensiones de cortocircuito)	%(Tanto por ciento)	Tanto por uno
S_n , S_R (Pot. Transformador, Pot. cortocircuito)	Mega voltio – amperios (MVA)	Voltio – amperios (VA)

Tabla 1.15

1.4. Memoria de Gas

1.4.1. Introducción

El objetivo fundamental en el diseño de una red de distribución es hacer llegar el gas a cada punto de consumo.

El problema puede abordarse desde dos puntos de vista diferentes, a saber:

- **Diseño**
Suele ser el caso más habitual, en el que a partir de una serie de datos de consumo se desea obtener los diámetros adecuados de las conducciones de gas.
- **Comprobación**
A partir de una instalación ya diseñada, se desea conocer si cumple con las limitaciones de diseño impuestas o consideradas a juicio del técnico.

Tanto si se desea diseñar como si lo que se quiere es comprobar, es necesario tener en cuenta las siguientes pautas:

- **Las condiciones de llegada del gas a los puntos de consumo.** Es necesario respetar una serie de condicionantes como las presiones en los consumos o su velocidad.
- **Facilidad de construcción.** La utilización de materiales, diámetros y otros elementos fácilmente disponibles en el mercado, que se ajusten a las normas tanto en sus dimensiones como comportamiento.
- **Mantenimiento.** Conseguir un buen funcionamiento de la instalación para evitar un excesivo y costoso mantenimiento correctivo, a la vez que se facilita el mantenimiento preventivo, resulta fundamental.
- **Economía.** No sirve tan sólo con hacer que la instalación funcione. Esta debe comportar, además, un coste razonable evitando en lo posible sobredimensionar.

Una vez recogidos todos los datos necesarios, se efectúa el cálculo con respecto a la formulación adecuada en cada caso.

1.4.2. Datos previos

1.4.2.1. Condiciones del suministro

Son necesarios varios datos a la hora de calcular una instalación. Estos datos son, en definitiva, los que marcarán el comportamiento de la misma.

1.4.2.1.1. Consumos

Generalmente, este es el principal condicionante en el funcionamiento de la instalación.

El caudal a suministrar en cada uno de los nudos de la instalación suele estimarse basándose en el tipo de suministro (urbano, industrial, comercial...) y en la zona climática.

Opcionalmente, el consumo en un determinado nudo puede expresarse, en el caso de instalaciones con gases combustibles, bajo la forma de potencia calorífica necesaria en el nudo, para lo que deberá proporcionarse el poder calorífico superior del gas.

De forma orientativa, en los siguientes cuadros se muestran valores habituales para proyectos:

Clasificación de Standing	
Muy alto	Viviendas aisladas de más de 300 m ²
Alto	Viviendas aisladas, adosadas o en vertical, de entre 150 y 300 m ²
Medio	Viviendas aisladas, adosadas o en vertical, de entre 80 y 150 m ²
Básico	Viviendas adosadas o en vertical de menos de 80 m ²

Tabla 1.16

Factores de simultaneidad	
Nº de usuarios potenciales totales	F _s
$N_{UP} \leq 100$	1,-
$100 < N_{UP} \leq 250$	0,88
$250 < N_{UP} \leq 500$	0,82
$500 < N_{UP} \leq 750$	0,75
$750 < N_{UP} \leq 1000$	0,63
$1000 < N_{UP} \leq 2000$	0,56
$2000 < N_{UP} \leq 3000$	0,5
$N_{UP} > 3000$	0,47

Tabla 1.17

Clasificación de zonas climáticas	
Zona cálida	$Gr_D \leq 700$
Zona normal	$700 < Gr_D \leq 1000$
Zona fría	$1000 < Gr_D \leq 1500$
Zona extrema	$Gr_D > 1500$

Tabla 1.18

Clasificación de Standing	
Muy alto	Viviendas aisladas de más de 300 m ²
Alto	Viviendas aisladas, adosadas o en vertical, de entre 150 y 300 m ²
Medio	Viviendas aisladas, adosadas o en vertical, de entre 80 y 150 m ²
Básico	Viviendas adosadas o en vertical de menos de 80 m ²

Tabla 1.19

Por aparatos instalados:

Tipo de aparato	Potencia calorífica (kW)
Cocina de gas	13
Quemadores de encimera	
Hasta 500 kcal/h	Hasta 0,58
Entre 500 y 1000 kcal/h	Entre 0,58 y 1,16
Entre 1000 y 2000 kcal/h	Entre 1,16 y 2,33
Entre 2000 y 3000 kcal/h	Entre 2,33 y 3,49
Más de 3000 kcal/h	Más de 3,49
Calentadores instantáneos	
5 l/min (10000 kcal/h)	11,63
10 l/min (20000 kcal/h)	23,26
13 l/min (26000 kcal/h)	30,24
15 l/min (30000 kcal/h)	34,89

Tabla 1.20

En el caso de consumos industriales o de grandes superficies comerciales se calculará el consumo total por suma directa de los consumos de los aparatos sin utilizar factores de simultaneidad.

Adicionalmente, hay que tener en cuenta no sólo los habitantes actuales de las zonas que se desea urbanizar, sino también realizar una previsión de un posible crecimiento de la población a la que habría que abastecer desde la red que se está calculando.

De forma orientativa, se puede calcular la población futura como:

$$P = P_a (1 + \alpha)^t$$

siendo:

P: Población futura

P_a: Población del último censo

α: Tasa de crecimiento de la población

t: Tiempo transcurrido desde el último censo

En algunos casos, puede ser interesante el uso de un coeficiente que incremente o reduzca, de forma general, los consumos de una red. De esta forma es posible simular funcionamientos estacionales o con menores ocupaciones. Este coeficiente sólo se aplica en el momento de cálculo sobre los caudales consumidos en los nudos.

1.4.2.1.2. Consumos distribuidos

En casos especiales puede ser de gran utilidad en el diseño simular los consumos de la instalación como distribuidos linealmente a lo largo de un tramo de conducción.

Esto da una primera estimación en la resolución de instalaciones con consumos similares suministrados a lo largo de un tramo largo de conducción.

De los resultados gráficos se puede comprobar a partir de qué punto no se cumplen los requerimientos de presión establecidos para la obra, para desdoblarse el tramo en dos con diámetros más adecuados.

El consumo de caudal o potencia uniforme se debe indicar en unidades por metro lineal de conducción.

1.4.2.1.3. Suministros de la red

Una red de gas recibe alimentación por uno o varios puntos. Dichos puntos suelen ser suministros de red procedentes de la compañía suministradora o bien de otras redes capaces de proporcionar gas a la instalación.

La compañía suministradora deberá indicar en cada caso el valor de la presión de suministro, así como la presión mínima a obtener en los puntos de consumo.

Al ser posible la introducción en una instalación de varios puntos de suministro, con diferentes presiones, pueden producirse circulaciones entre puntos de alimentación de la red.

En efecto, dos suministros con presiones diferentes pueden producir circulaciones entre ellos, debido a la diferencia de presión. Si no existe entre ellos una carga lo suficientemente grande para paliar esta diferencia, puede producirse un trasvase de gas de uno a otro. Para evitar las circulaciones, pueden tomarse las siguientes medidas:

- Evitar en lo posible un gran número de nudos de suministro. En caso de que sea necesario situar varios de estos puntos, deberán estar lo más separados posible.
- Evitar en lo posible grandes diferencias de presión entre los nudos de suministro. Puede suponerse que la red de la compañía distribuidora es lo suficientemente extensa y está diseñada para proporcionar presiones similares en todos los puntos.

Puede ocurrir, aun así, que se desee hacer el cálculo con circulaciones de gas entre suministros, pero conviene tener en cuenta que este tipo de comportamiento puede falsear el dimensionamiento de conducciones.

1.4.2.1.4. Velocidad en las conducciones

Una de las principales limitaciones a la hora de dimensionar una red de conductos de gas es la velocidad del fluido en los mismos.

No conviene sobrepasar una velocidad máxima de 20 m/s, aunque la fórmula de Renouard tiene validez hasta los 30 m/s.

1.4.2.1.5. Presiones en los consumos

Cuando se diseña una red de suministro de gas es necesario asegurar en los consumos una presión disponible mínima, que depende de la presión de suministro y de las necesidades propias de los consumos.

1.4.2.2. Conducciones

El funcionamiento de una instalación de suministro de gas depende en gran medida del tipo y tamaño de las conducciones empleadas.

1.4.2.2.1. Materiales

Debido a la baja densidad de los gases que circulan, suele despreciarse la influencia del material y su acabado en el cálculo de gas, tomándose en cuenta tan sólo como método de identificación.

1.4.2.2.2. Diámetros

El tratamiento de los materiales se realiza a través del uso de bibliotecas, de las cuales se obtienen los materiales a emplear en las obras. Cada uno de estos materiales aporta una serie de diámetros. Estas bibliotecas son definibles por el usuario, que puede quitar o añadir diámetros a la serie.

Para cada material, existen predefinidas series de diámetros normalizados. Éstos tienen, habitualmente, la notación 'DN' junto con la dimensión aproximada de su diámetro en milímetros.

Un 'DNx' no significa que el diámetro interior de la conducción sea de x milímetros. Probablemente sea menor, pero debe consultarse en cualquier caso.

Los materiales predefinidos procedentes de las bibliotecas contemplan esta diferencia y puede consultarse directamente en la propia biblioteca o en el momento de asignar el diámetro a cada tramo.

Para los materiales creados o editados, debe ser el propio usuario quien designe el diámetro interior de la conducción.

Es habitual en gas utilizar la denominación de diámetros por pulgadas, si bien hay que hacer notar que tampoco el número de pulgadas indica exactamente el diámetro interior y debe ser tomado como una denominación.

Diámetros mayores proporcionan pérdidas de carga menores en las conducciones y disminuyen la velocidad de circulación, pero encarecen el coste de la instalación.

1.4.2.2.3. Consideración de elementos especiales

Debido a necesidades constructivas o de control, las instalaciones de suministro de gas requieren del uso de elementos especiales diferentes a las tuberías.

Para poder tener en cuenta las pérdidas de carga sufridas en estos elementos, es una práctica habitual en el ámbito de cálculo el incrementar un porcentaje la longitud física de los tramos para conseguir una longitud resistente que incluya estas pérdidas de carga localizadas.

Por ello, es posible definir un porcentaje de incremento de la longitud resistente para simular estas pérdidas. Este incremento de longitud sólo se aplica en el momento de cálculo, no en la medición de la tubería.

Un valor recomendado en la práctica es un 20% de incremento.

1.4.2.3. Excavaciones

Las conducciones de gas en distribución y urbanización se instalan por lo general enterradas.

Para ello, suelen excavar zanjás para acoger las conducciones. La forma de la zanja, el volumen de excavación y otra serie de factores pueden resultar interesantes a la hora de calcular una instalación.

1.4.2.3.1. Características del terreno

La forma en que será excavada la zanja depende en gran medida de las características del terreno donde se enterrará la conducción. Para ello deben conocerse los terrenos en los que se va a excavar y algunas características propias del proceso de instalación de la conducción:

- **Talud.** Es la máxima inclinación de una pared excavada en un terreno con la suficiente solidez como para no desmoronarse. Se suele expresar en metros de apertura horizontal por cada metro excavado verticalmente.
- **Distancia lateral.** Distancia mínima que deberá separarse la conducción de las paredes de la zanja.
- **Ancho mínimo.** Por algún tipo de limitaciones mecánicas, no se pueden construir zanjas con anchos excesivamente pequeños. En caso de que la conducción sea de pequeño diámetro y junto con las distancias laterales no se complete o supere el ancho mínimo, se toma este ancho mínimo como ancho de cálculo.
- **Lecho.** Distancia entre el suelo de la zanja y la base de la conducción. Suele rellenarse con arena, aunque es también posible encontrar lechos de hormigón en algunos casos.
- **Relleno.** Una vez depositada la conducción sobre el lecho, se rellena con arena hasta cubrir la conducción. Se denominará distancia de relleno al espesor de arena por encima de la conducción.

1.4.2.3.2. Medición

Para realizar el cálculo de excavación, es necesario disponer de información sobre las profundidades de excavación. Debe disponerse, por tanto, de:

- **Cota del nudo.** Es la cota de la parte inferior de la conducción en cada uno de los nudos de la instalación.

- **Cota del terreno.** Es la cota a la que queda el terreno modificado, es decir, el terreno una vez explanado, sobre el que se va a realizar la excavación.
- **Cota de la rasante.** Es la cota a la que quedará la superficie tras haber cerrado las zanjas y construido el firme sobre el terreno.

Es habitual que el espesor del paquete de firme sea constante para toda una obra, por lo que tan sólo serían necesarias las cotas de rasante, deduciendo el terreno como la cota de rasante menos el espesor del firme. Si no existe firme (espesor = 0), coincidirán rasante y terreno.

Todo esto es válido en obras nuevas, ya que si se trata de reparaciones o modificaciones sobre calles ya existentes, pueden existir diferencias en la medición, al existir dos estratos de características diferentes a efectos de excavación.

1.4.2.3.3. Limitaciones

Debido a la situación bajo tierra de diferentes tipos de instalaciones (electricidad, agua, gas, telefonía...), suele existir una limitación de **profundidad mínima** que debe respetarse para evitar colisiones con otras instalaciones.

Esta profundidad mínima se mide desde la cota de rasante hasta la cara superior de la conducción.

Respetando estas profundidades mínimas, se facilita que en futuras excavaciones no se produzcan roturas accidentales de la conducción.

1.4.3. Cálculo (Opción: Calcular)

Una vez recogidos los datos de partida, se procede al cálculo de la instalación, de acuerdo con los tipos de conducciones, diámetros, caudales demandados y presiones de suministro. Para ello se emplean la formulación y el método de resolución que se detallan a continuación.

1.4.3.1. Formulación

En el caso de instalaciones de gas se utiliza para la resolución del sistema de ecuaciones, sea mallado, ramificado o mixto, el método de los elementos finitos de forma discreta.

En caso de proporcionar el consumo en los nudos en forma de potencia calorífica, se obtiene el caudal por medio de la fórmula:

$$Q = \frac{P}{PCS}$$

siendo,

Q: Caudal de gas demandado en el nudo (m³/h)

P: Potencia calorífica demandada en el nudo (W)

PCS: Poder calorífico superior del gas (W·h/m³)

Para la resolución de cada uno de los segmentos de la instalación se calculan las caídas de presión, entre dos nudos conectados por un tramo, por medio de la fórmula de Renouard:

$$P \leq 0.1 \text{ bar} \Rightarrow \Delta P = CR_l \cdot \rho_r \cdot L \cdot D^{-4.82} \cdot Q^{1.82}$$

$$P > 0.1 \text{ bar} \Rightarrow P_1^2 - P_2^2 = CR_c \cdot \rho_r \cdot L \cdot D^{-4.82} \cdot Q^{1.82}$$

siendo:

P₁, P₂: Presiones absolutas del gas en los puntos inicial y final del tramo (bar)

CR_l: Coeficiente constante de la fórmula de Renouard lineal. Su valor se toma habitualmente 23.2

CR_c: Coeficiente constante de la fórmula de Renouard cuadrática. Su valor se toma habitualmente 48.66 para presio-

nes entre 0.1 y 4 bar, tomando 51.5 para presiones hasta los 16 bar

ρ_r: Densidad relativa del gas empleado. Para el gas natural, suele oscilar entre 0.55 y 0.65

L: Longitud resistente de la conducción (m)

D: Diámetro interior de la conducción (mm)

Q: Caudal que circula por la conducción (m³/h)

El cálculo de la velocidad se realiza por medio de:

$$v = \frac{C_v \cdot Q \cdot Z}{P \cdot D^2}$$

donde:

C_v: Es un factor constante. Su valor habitual es 354, si bien para presiones superiores a los 4 bar se utiliza el valor 378

Z: Factor de compresibilidad del gas. Por debajo de los 5 bar absolutos se suele considerar 1

En efecto, la fórmula de Renouard cuadrática proporciona el mismo valor de caudal tanto si P₁ es igual a 1 bar y P₂ igual a 0.5 bar, como en el caso en que P₂ sea igual a -0.5 bar.

La fórmula de Renouard no tiene validez para valores de P₁ y P₂ menores que 0.

La fórmula de Renouard cuadrática tiene una zona en la que no está definida biunívocamente, y por tanto su evolución no es válida.

En esta zona, con valores negativos de alguna de las dos presiones, se aproxima el valor con una ponderación entre la fórmula cuadrática y la lineal, por lo que **los resultados no pueden ser considerados fiables**. Este valor tan sólo da una idea de si la diferencia de presión sobre el límite establecido es grande o pequeña.

La fórmula de Renouard es válida por debajo de los 30 m/s. Para velocidades mayores, los resultados son tan sólo orientativos.

1.4.3.2. Conducciones con consumos distribuidos

Para la resolución de un tramo con consumo uniforme se realiza una discretización de los caudales o potencias demandadas por metro lineal en pequeños consumos puntuales.

La introducción de esta discretización incrementa el número de nudos que tiene la instalación y, por tanto, el número de ecuaciones del sistema. Esto implica un aumento en el tiempo de cálculo similar al producido por la introducción manual de cada uno de los nudos generados por dicha discretización.

Una vez obtenida la solución del sistema de ecuaciones para los subtramos, se obtienen un caudal y una velocidad variable linealmente con la longitud del tramo y la curva correspondiente de presiones, que podrá variar en función de si la conducción tiene aporte de caudal por los dos extremos, etc.

Este último caso provoca que el tramo esté recorrido por el flujo en los dos sentidos, encontrando a lo largo del mismo un punto de caudal y velocidad nula, correspondiente a una presión mínima (máxima caída en el tramo).

1.4.3.3. Resolución del sistema mallado

Para resolver el sistema mallado, se emplea una variante del método de los elementos finitos discretizado.

Se considera el modelo de la conducción como una matriz de rigidez $[K]$ para cada uno de los elementos de la red:

$$[K] = G^{(e)} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

donde:

$G^{(e)}$ es el factor que relaciona la caída de presión en el elemento e con el caudal circulante de forma lineal. Se denominará a $G^{(e)}$ factor de rigidez del elemento e .

Se realiza posteriormente el ensamblado de las matrices de rigidez de la instalación en una sola matriz, cuya resolución se aborda por métodos frontales.

Gracias a este método, es posible resolver indistintamente sistemas mallados, ramificados o mixtos, con uno o varios puntos de suministro a presión fija.

1.4.3.4. Diseño (Opción: Dimensionar)

Si, después de efectuar el cálculo, existen tramos y/o nudos que no cumplan con todas las limitaciones impuestas, se puede recurrir a un predimensionado óptimo automático.

Debido a la complejidad en el comportamiento de sistemas mallados, unido a la falta de linealidad y necesidad de iteración que presentan las instalaciones de gas, el dimensionamiento debe realizarse por el método de prueba y rectificación.

Al predimensionar, el programa tratará de optimizar y seleccionar el diámetro mínimo que cumpla todas las restricciones (velocidad, presión).

Para iniciar el dimensionamiento, se establece el diámetro de cada uno de los tramos al menor de la serie del material asignado.

No se alterará durante el dimensionamiento el material del tramo, ya que las variaciones en el material empleado en una obra suelen ser limitaciones impuestas al diseño por factores externos o normas.

El cálculo de esta primera iteración proporciona una serie de desviaciones sobre los límites establecidos en velocidades y presiones.

Se aumenta el diámetro del tramo que se encuentra en peores condiciones, es decir, cuya desviación sobre los límites de velocidad sea la mayor.

Una vez los tramos cumplen condiciones, se comprueba si existen nudos que no cumplan con las condiciones de presión mínima. En caso de existir, se modificará el diámetro de las conducciones más cargadas, es decir, aquellas con una pérdida de carga unitaria mayor.

1.4.3.5. Unidades

El programa solicita los datos en una serie de unidades, si bien internamente utiliza las unidades requeridas por la formulación. Las unidades empleadas se muestran en la siguiente tabla:

Magnitud	Petición y resultados	Operación
L (Longitud)	metros (m)	metros (m)
D (Diámetro)	milímetros (mm)	metros (m)
Q (Caudal)	metros cúbicos por hora (m ³ /h)	metros cúbicos por hora (m ³ /h)
P (Presión)	bar (bar)	bar (bar)
Pt (Potencia)	kW	W
v (Velocidad)	metros por segundo (m/s)	metros por segundo (m/s)

Tabla 1.21

2. Conceptos básicos

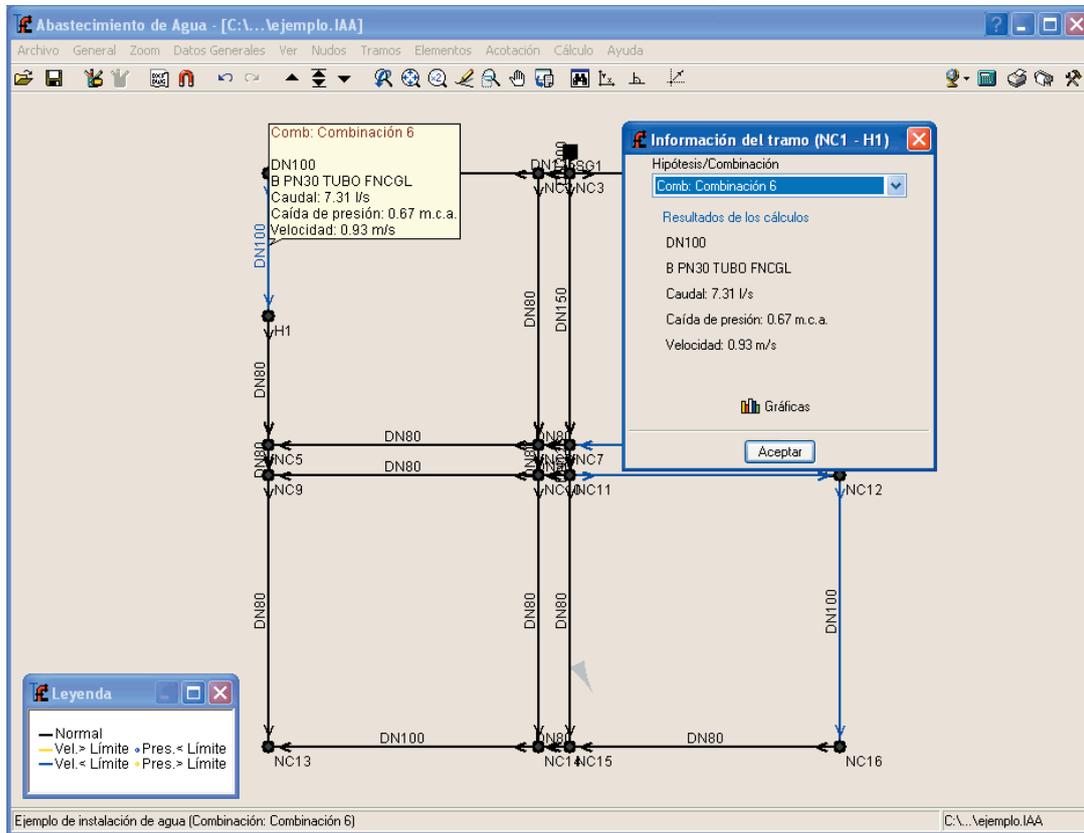


Fig. 2.1

2.1. Listados

La forma de obtener los listados se realiza mediante la opción **Archivo > Imprimir > Listados de la obra**.

Los listados pueden dirigirse a impresora (con vista preliminar opcional, ajuste de página, etc.) o bien pueden generarse ficheros HTML, PDF, RTF y TXT.

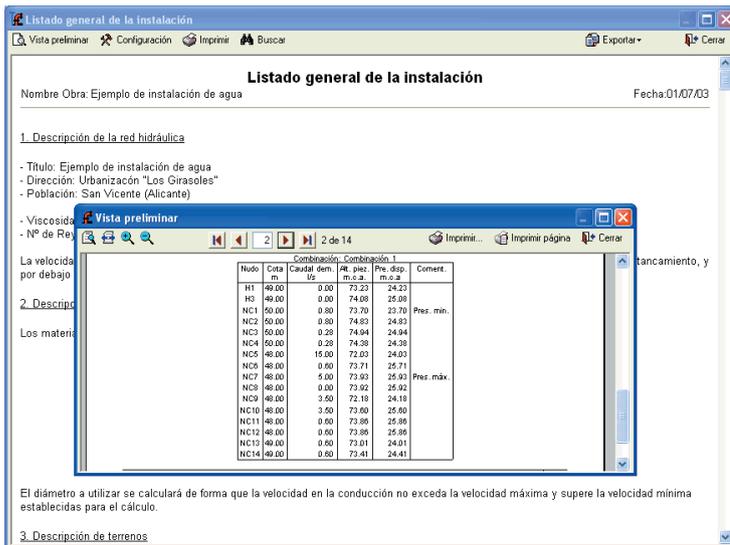


Fig. 2.2

2.2. Planos

La forma de obtener los planos se realiza mediante la opción **Archivo > Imprimir > Planos de la obra**.

Pueden realizarse las siguientes operaciones para el dibujo de planos:

- La ventana **Selección de planos** permite añadir uno o varios planos para imprimir simultáneamente y especi-

ficar el periférico de salida: impresora, plotter, DXF o DWG; seleccionar un cajetín (de **CYPE** o cualquier otro definido por el usuario) y configurar las capas.

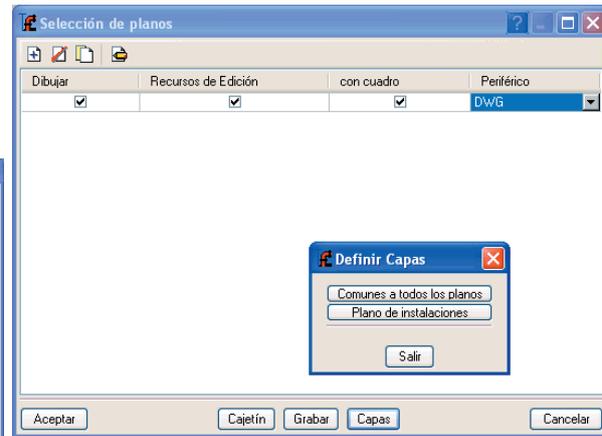


Fig. 2.3

- En cada plano configurar los elementos a imprimir, con posibilidad de incluir detalles de usuario previamente importados.



Fig. 2.4

- Modificar la posición de textos.

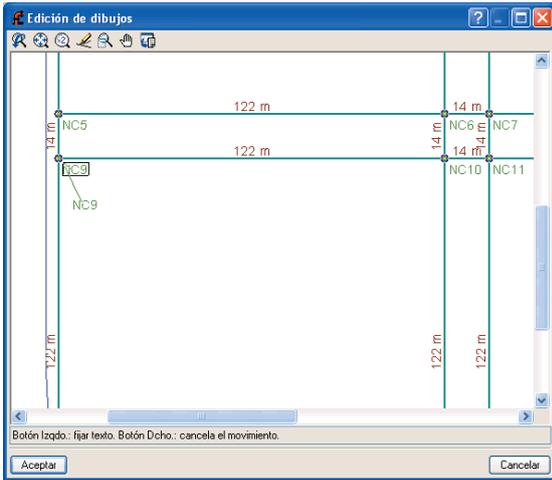


Fig. 2.5

- Resituar los objetos dentro del mismo plano o moverlos a otro.

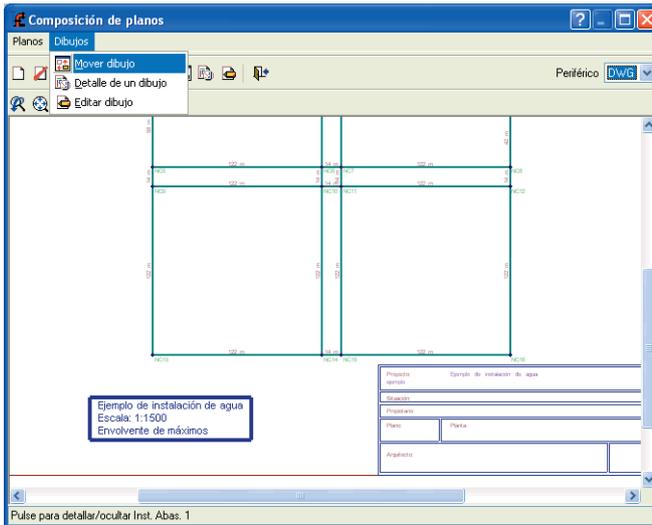


Fig. 2.6

3. Ejemplos prácticos

3.1. Ejemplo Abastecimiento de agua

En las páginas siguientes se aborda el desarrollo de un ejemplo práctico que se aconseja seguir paso a paso para el aprendizaje del manejo del programa. En el ejemplo seleccionado se realiza el cálculo de una red de distribución de agua potable.

Con el programa se incluye dicha obra de ejemplo. Para acceder a ella siga estos pasos:

- Entre en el programa.
- Pulse **Archivo > Gestión archivos**. Se abre la ventana **Selección de fichero**.
- Pulse el botón **Ejemplos**.

A continuación, ya puede abrir el archivo de obra disponible en la ruta: \CYPE Ingenieros\Ejemplos\Abastecimiento de agua. La figura siguiente muestra la planta de distribución de parcelas de la que se realizará el cálculo. La red es de tipo mallado y se considerarán los consumos de cálculo que se especifican a continuación.

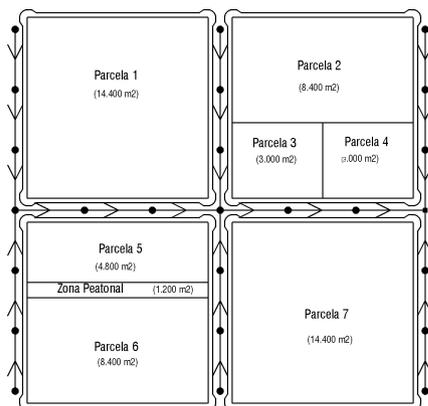


Fig. 3.1

La población se estima según el Plan Parcial de la zona considerada. Se tendrá en cuenta un número de 4 habitantes por vivienda.

La dotación por vivienda será:

D (Dotación):

300 l/(día · hab) para un caudal de tipo medio.

C_{diario} (Coeficiente de mayoración diario):

1.25 (por puntas de consumo en fines de semana)

C_{horario} (Coeficiente horario):

2.4 (por puntas de consumo en unas horas del día)

Q (Caudal):

$$Q = \frac{D}{24} \cdot C_{\text{diario}} \cdot \frac{C_{\text{horario}}}{3600} = \frac{300}{24} \cdot 1.25 \cdot \frac{2.5}{3600} = 0.011 \text{ l/(s} \cdot \text{hab)}$$

Dotación/viv.:

4 hab/viv · caudal l/s · hab = 4 · 0.011 = 0.044 l/(s · viv)

El caudal para bocas de riego en zonas verdes será de 1.5 l/s y se han previsto 2 uds. El caudal de cada hidrante es de 16.66 l/s. La dotación para la zona comercial será de 7 l/s y para la zona docente de 5 l/s. Se calculará la red en su totalidad de fundición, empezando con un diámetro para toda ella de 80 mm, que es el mínimo establecido para la población. Las hipótesis simples de cálculo son :

- Viviendas
- Zona verde
- Hidrante 1
- Hidrante 2
- Hidrante 3
- Hidrante 4
- Hidrante 5

Se establecen las siguientes combinaciones de cálculo:

1. (Viviendas). Con la dotación correspondiente a todas las viviendas (comercial + docente + viviendas).
2. (Viv. + Z. verde). Con la dotación correspondiente a todas las viviendas y puesta en funcionamiento de dos bocas de riego para la zona verde con un caudal cada una de ellas de 1.5 l/s.
3. (Viv. + Hidra1 + Hidra2). Con la dotación correspondiente a todas las viviendas y puesta en funcionamiento de dos hidrantes simultáneamente (Hidrante 1 + Hidrante 2).
4. (Viv. + Hidra1 + Hidra4). Con la dotación correspondiente a todas las viviendas y puesta en funcionamiento de dos hidrantes simultáneamente (Hidrante 1 + Hidrante 4).
5. (Viv. + Hidra2 + Hidra3). Con la dotación correspondiente a todas las viviendas y puesta en funcionamiento de dos hidrantes simultáneamente (Hidrante 2 + Hidrante 3).
6. (Viv. + Hidra2 + Hidra4). Con la dotación correspondiente a todas las viviendas y puesta en funcionamiento de dos hidrantes simultáneamente (Hidrante 2 + Hidrante 4).
7. (Viv. + Hidra2 + Hidra5). Con la dotación correspondiente a todas las viviendas y puesta en funcionamiento de dos hidrantes simultáneamente (Hidrante 2 + Hidrante 5).
8. (Viv. + Hidra3 + Hidra5). Con la dotación correspondiente a todas las viviendas y puesta en funcionamiento de dos hidrantes simultáneamente (Hidrante 3 + Hidrante 5).
9. (Viv. + Hidra4 + Hidra5). Con la dotación correspondiente a todas las viviendas y puesta en funcionamiento de dos hidrantes simultáneamente (Hidrante 4 + Hidrante 5).

Los coeficientes de combinación para las hipótesis simples se reflejan en la tabla 3.1.

La red de abastecimiento de agua que se va a introducir se puede observar en la Fig. 3.2.

Comb.	Viv.	Zona Verde	H1	H2	H3	H4	H5
1	1	0	0	0	0	0	0
2	0.8	1	0	0	0	0	0
3	0.5	0	1	1	0	0	0
4	0.5	0	1	0	0	1	0
5	0.5	0	0	1	1	0	0
6	0.5	0	0	1	0	1	0
7	0.5	0	0	1	0	0	1
8	0.5	0	0	0	1	0	1
9	0.5	0	0	0	0	1	1

Tabla 3.1

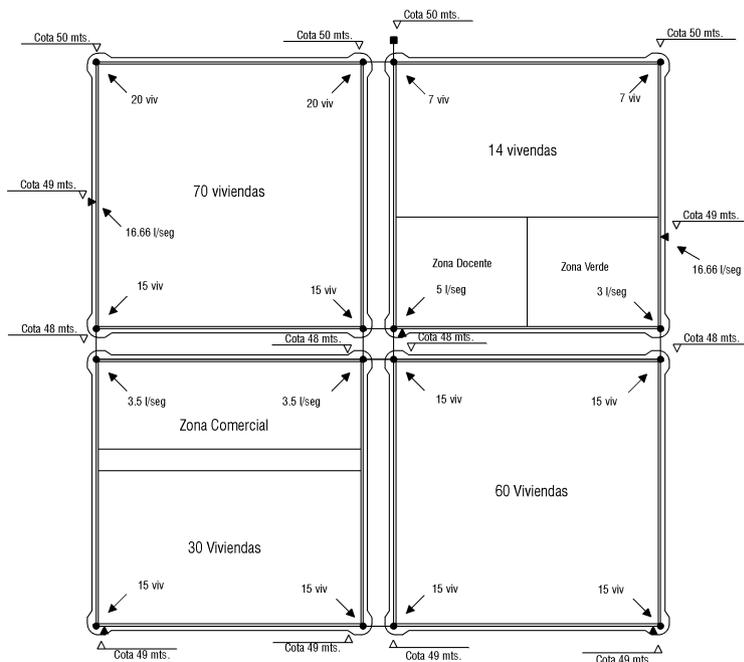


Fig. 3.2

3.1.1. Datos generales

Active la opción **Archivo > Nuevo**. Verá en pantalla la ventana **Nueva Obra**.

Introduzca un nombre a la obra.

Al **Aceptar** se abrirá el diálogo **Datos generales de la instalación**.

3.1.1.1. Carpeta general

Comience introduciendo los datos generales de la instalación: título, dirección, población, fecha y notas.

Estos datos generales de la instalación aparecerán reflejados en los listados de cálculo dentro de la instalación.

Fig. 3.3

Haga clic en el botón **Materiales** para seleccionar los que intervendrán en la obra. Seleccione el material que se muestra en la figura siguiente de la **Biblioteca CYPE** y pulse el botón para utilizarlo como material de la obra.

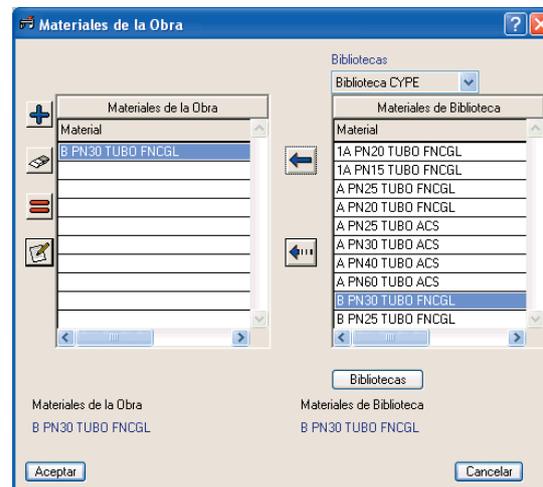


Fig. 3.4

Haga clic en el botón **Terrenos** para seleccionar los que intervendrán en la obra. Seleccione el terreno que se muestra en la figura siguiente de la **Biblioteca CYPE** y pulse el botón para utilizarlo como terreno de la obra.



Fig. 3.5

3.1.1.2. Carpeta Parámetros

La viscosidad del fluido debe ser de $1.15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. El n° de Reynolds de transición de 2500.

3.1.1.3. Carpeta Límites

La velocidad máxima en los tramos, para cualquier combinación será de 2 m/s, la mínima de 0.5 m/s. La presión máxima en los nudos será de 50 m.c.a, y la mínima de 10 m.c.a.

3.1.1.4. Carpeta Coeficientes

El coeficiente de simultaneidad será de 1, el coeficiente de mayoración de longitudes será del 20%, la carga se introducirá por dotación y será de 0.04 l/s (por vivienda).

El prefijo de nudo de consumo será NC, el de suministro SG, y el de transición N.

3.1.1.5. Carpeta Excavaciones

La profundidad mínima de cota de rasante hasta la arista superior de la cara interior de la conducción será de 0.70 m, y el espesor del firme de 0.35 m.

Active la casilla **Mostrar parámetros de excavación**.

3.1.2. Hipótesis

En las primeras páginas de este capítulo se han especificado las hipótesis, combinaciones y coeficientes que intervendrán en el cálculo de la red.

Pulse **Datos generales > Editar hipótesis**. Configure las hipótesis simples que se muestran a continuación.

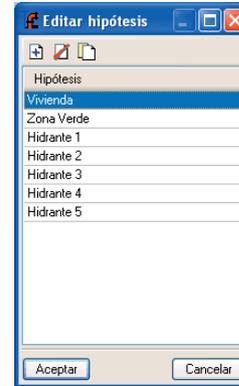


Fig. 3.6

3.1.3. Combinaciones

Pulse **Datos generales > Editar combinaciones**. Se abrirá una ventana en donde indicará el nombre de las combinaciones y coeficientes de combinación que se van a establecer para cada hipótesis. Coloque los valores indicados en la tabla de los coeficientes de combinación para las hipótesis simples en las primeras páginas de este capítulo.

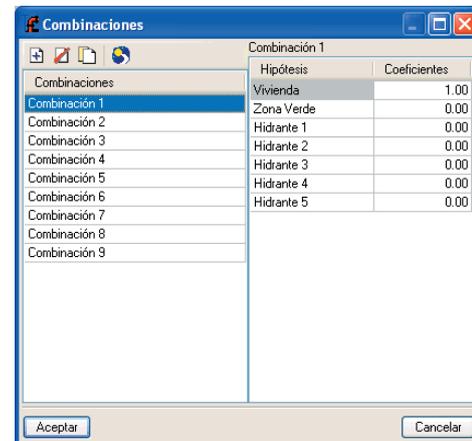


Fig. 3.7

3.1.4. Introducción de la geometría

Como lo más cómodo es utilizar un DXF o DWG que sirva de plantilla para introducir la geometría. Para instalar en su disco duro el DXF de este ejemplo ejecute la opción **Archivo > Importar > Ejemplos de instalación**.

A continuación, para importar el fichero DXF a formato propio del programa siga estos pasos:

- Seleccione el icono **Editar plantillas** de la barra de herramientas. Se abrirá la ventana **Gestión de vistas de DXF-DWG**.

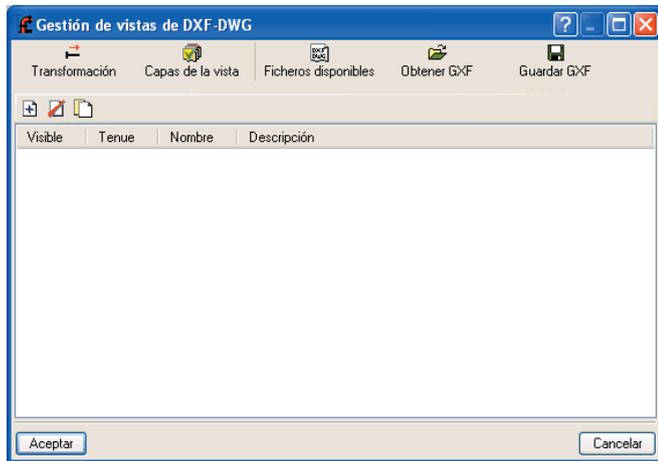


Fig. 3.8

- Pulse el icono **Añadir**. Se abrirá la ventana **Selección de ficheros DXF-DWG a leer** y se le pedirá que seleccione el tipo DXF. Busque el fichero:
 \CYPE Ingenieros\Ejemplos\Abastecimiento de Agua\agua.dxf. Selecciónelo y pulse **Abrir**.

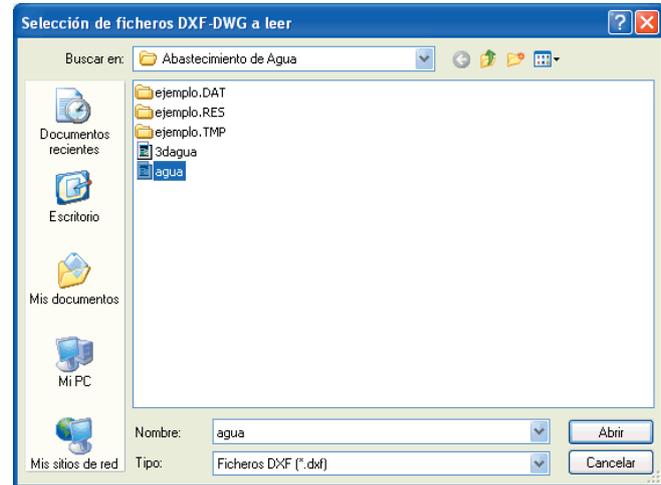


Fig. 3.9

- Pulse **Aceptar** para volver a la ventana **Gestión de vistas de DXF-DWG** y pulse **Aceptar** nuevamente para visualizarlo en pantalla.

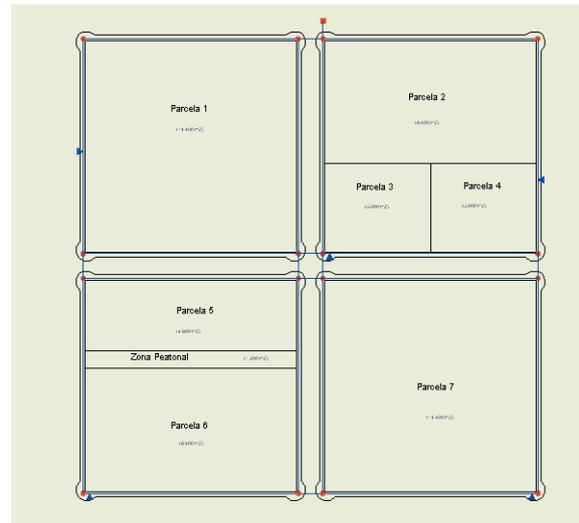


Fig. 3.10

Para la utilización de las capturas pulse en la barra de Herramientas sobre **Capturas a plantillas** y active por ejemplo **Intersección** o **Extremo**.

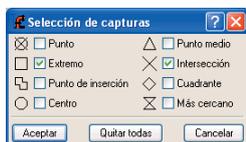


Fig. 3.11

Introduzca los tramos mediante la opción **Tramos > Nuevo**, y apoyándose en la plantilla. Aunque al introducir los tramos los nudos muestran unas referencias que no son las de la figura siguiente, se ha querido mostrar las referencias definitivas para que sirvan de guía al usuario en la posterior edición de nudos.

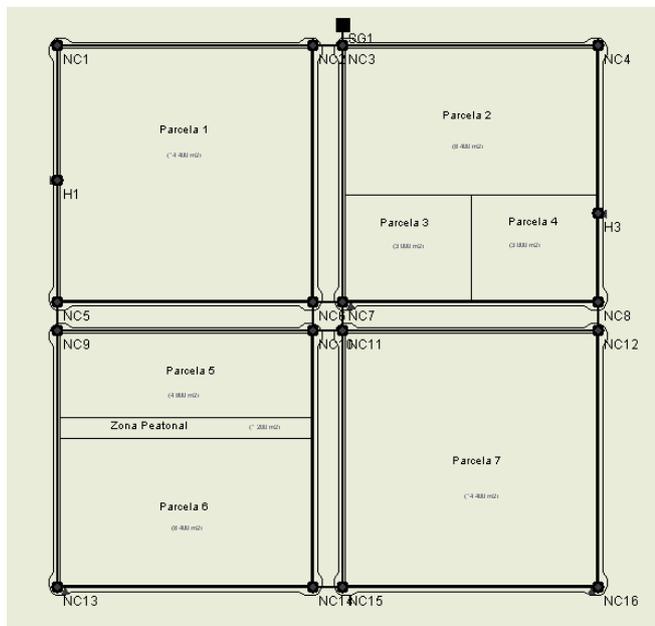


Fig. 3.12

Los nudos se crean por defecto como nudos de transición, es decir, nudos sin consumo que permiten realizar cambios de dirección conservando la unidad del tramo en el dimensionamiento.

3.1.5. Edición de nudos

Pulse **Nudos > Editar datos de cálculo**. Introduzca los datos de la figura siguiente en el nudo de suministro general (SG1).

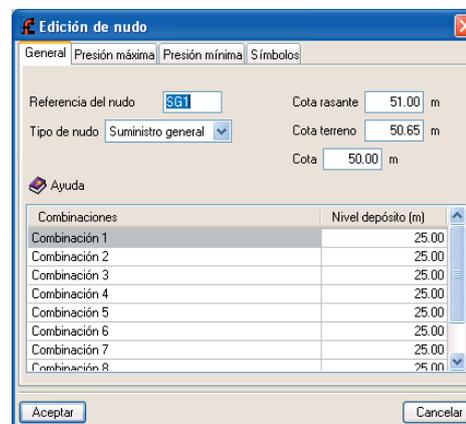


Fig. 3.13

Edite el nudo de consumo NC1 y asígnele una carga **Por Dotación**. Pulse el botón **Editar** para la hipótesis 'Viviendas' e introduzca el número de unidades.

La dotación se indica en **Datos generales > Coeficientes**, y es de 0.04 l/seg/viv. El número de unidades es el número de viviendas a suministrar por nudo; aquí, 20. Por tanto, pulse **Editar** e introduzca los datos siguientes:



Fig. 3.14

En el nudo H1 (hidrante) introduzca un carga directa de 16.66 l/s.



Fig. 3.15

Puede suceder que en un mismo nudo de consumo, tenga que definir la carga por dotación y de forma directa, e incluso, dentro de la misma hipótesis.

Por ejemplo: en el nudo NC16 el consumo para la hipótesis de vivienda es Por Dotación con 15 viviendas y el consumo para la hipótesis del hidrante 4 es Directa con 16.66 l/s.

Introduzca los datos del resto de los nudos según se muestra en la figura 3.2.

Es muy práctico introducir los datos de los nudos con el comando **Nudos > Asignar datos de cálculo**.

3.1.6. Edición de tramos

Aunque en este ejemplo se dejarán los datos por defecto, para modificar un tramo se utiliza la opción **Tramos > Editar datos de cálculo**, se pulsa sobre éste apareciendo la figura siguiente.

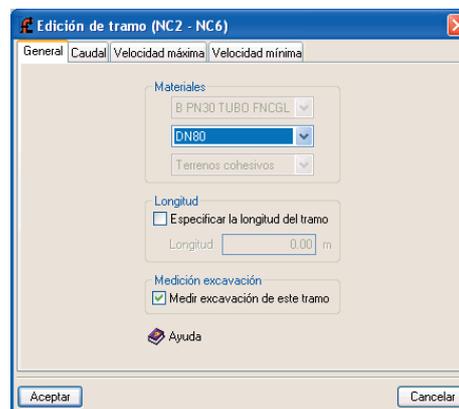


Fig. 3.16

Se abre una ventana en la que introducirá los datos particulares de dicho tramo, de forma que puedan ser diferentes a los datos generales.

Pulse sobre el botón de ayuda en pantalla para mayor información.

Es muy práctico introducir los datos de los nudos con el comando **Tramos > Asignar datos de cálculo**.

3.1.7. Cálculo

Para calcular la instalación, active menú **Cálculo > Calcular**. El programa comprobará la red con las dimensiones indicadas.

Una vez realizado, puede ocurrir que aparezca un informe en el que se muestran los errores que se han producido durante el cálculo.

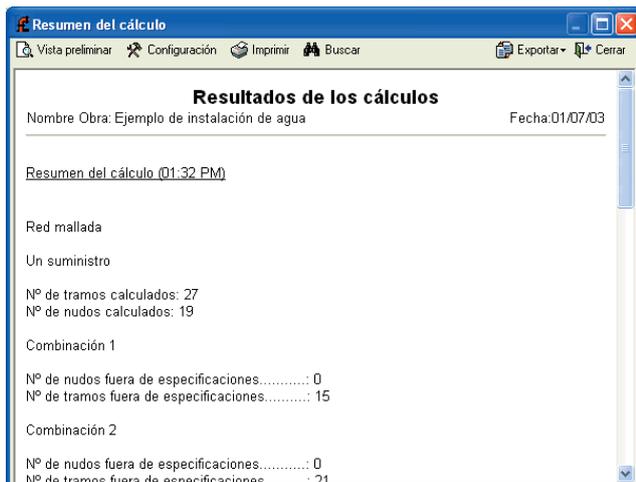


Fig. 3.17

El cálculo no se detiene por ningún motivo si la resolución de la instalación es posible.

Tras el cálculo, el programa mostrará la envolvente de máximos. Se mostrarán los nudos o tramos que no cumplen en color **rojo**.

Con  puede visualizar datos y resultados de las diferentes hipótesis, combinaciones y envolventes. Las envolventes sólo indicarán si el tramo cumple o no.

Para saber el motivo por el que un nudo o un tramo no cumple debe activar una combinación. Verá una leyenda de colores que identifica los nudos y tramos con sus límites.

En la parte inferior podrá ver un rótulo que indica el nombre de la obra y la hipótesis, envolvente o combinación en la que se encuentra.

Para consultar los datos resultantes del cálculo de cada nudo o tramo para combinación pulse el botón **Información** tanto en el menú **Nudos** como en el menú **Tramos**.

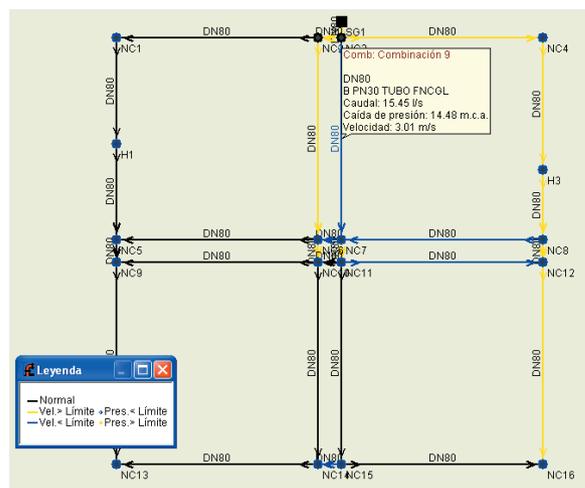


Fig. 3.18

Una vez comprobados todos los resultados del cálculo tanto para tramos como para nudos habrá que realizar las modificaciones necesarias para ajustar la red, de forma manual o de forma automática.

Si, después del cálculo, existen tramos o nudos que no cumplan todas las limitaciones impuestas, se puede recurrir a un dimensionamiento óptimo automático. Para más información sobre este aspecto consulte la **Memoria de cálculo** de **Abastecimiento de agua**.

Pulse **Cálculo > Dimensionar**. El programa preguntará si desea asignar los resultados del predimensionado a la obra actual. Si pulsa **Sí**, se calculará la instalación con dicho dimensionamiento.

3.2. Ejemplo de Alcantarillado

En las páginas siguientes se aborda el desarrollo de un ejemplo práctico que aconsejamos seguir paso a paso para el aprendizaje del manejo del programa. En el ejemplo seleccionado se realiza el cálculo de una red de saneamiento.

Con el programa se incluye dicha obra de ejemplo. Para acceder a ella siga estos pasos:

- Entre en el programa.
- Pulse **Archivo > Gestión archivos**. Se abre la ventana **Selección de Fichero**.
- Pulse el botón **Ejemplos**.

A continuación, ya puede abrir el archivo de obra disponible en la ruta:

\\CYPE Ingenieros\Ejemplos\Alcantarillado.

La figura siguiente muestra la planta de distribución de parcelas de la que se realizará el cálculo.

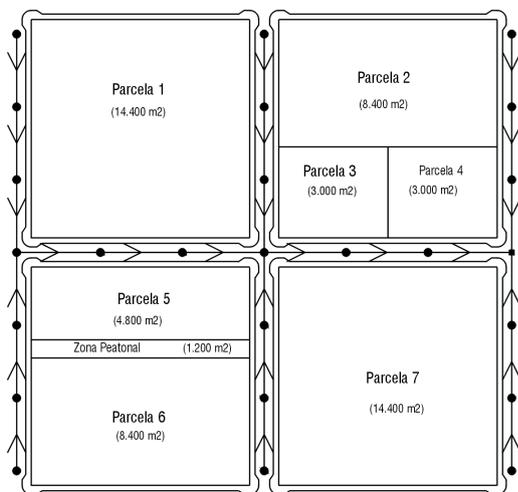


Fig. 3.19

La red se ha estructurado en forma ramificada, mixta para pluviales y fecales. El sistema de evacuación es por gravedad y se considerarán los siguientes consumos de cálculo: el caudal para aguas negras es análogo al del dimensionamiento de la red de agua potable.

La población se estimará según el Plan Parcial de la zona considerada. Se tendrá en cuenta un número de 4 habitantes por vivienda. La dotación por vivienda será en este caso:

D (Dotación):

300 l/(día · hab) para un caudal de tipo medio.

C_{diario} (Coeficiente de mayoración diario):

1.25 (por puntas de consumo en fines de semana)

C_{horario} (Coeficiente horario):

2.5 (por puntas de consumo en unas horas del día)

Q (Caudal):

$$Q = \frac{D}{24} \cdot C_{\text{diario}} \cdot \frac{C_{\text{horario}}}{3600} = \frac{300}{24} \cdot 1.25 \cdot \frac{2.5}{3600} = 0.011 \text{ l/(s} \cdot \text{hab)}$$

Dotación/viv.:

4 hab / viv · caudal l/s · hab = 4 · 0.011 = 0.044 l/(s · viv)

La dotación para la zona comercial será de 7 l/s y para la zona docente de 5 l/s.

Con el fin de calcular el caudal para pluviales se aplicará, para conocer las precipitaciones, el método racional con la fórmula:

$$Q = \frac{C I A}{360}$$

donde,

Q: Caudal máximo previsible en la sección de desagüe en estudio, en m³/s

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de lluvia máxima previsible para un periodo de retorno dado, en mm/h (correspondiente a una precipitación de duración igual al tiempo de concentración)
 A: Superficie de la cuenca, en Ha

Teniendo en cuenta los siguientes valores:

- Coeficientes de escorrentía:
 Zonas peatonales, viario y parcelas: 0.95
 Zona verde: 0.5
- Periodo de retorno: 10 años
- Precipitación máxima horaria: 50 mm/h

y expresado el caudal en l/s y la superficie en m²:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360} = \frac{50}{360} \cdot \frac{10^3}{10^4} C \cdot A \approx 0.014 C \cdot A [0,1]$$

Se calculará la red en su totalidad de hormigón armado, empezando con un diámetro para toda ella de 300 mm.

Las hipótesis simples de cálculo a considerar son:

- Fecales
- Pluviales

Se establecerán las combinaciones de cálculo siguientes:

1. Con el caudal de fecales
2. Con el caudal correspondiente a fecales y pluviales

La red de saneamiento que se va a introducir como ejemplo es la que queda reflejada en el esquema de la figura siguiente.

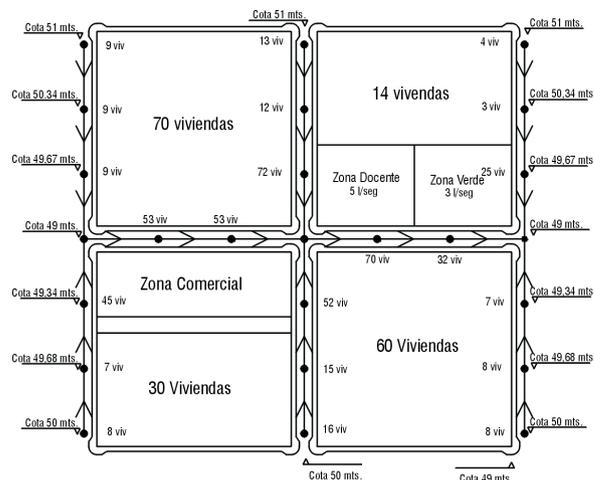


Fig. 3.20

3.2.1. Datos generales

Active la opción **Archivo > Nuevo**. Verá en pantalla la ventana **Nueva Obra**.

Introduzca un nombre a la obra.

Al **Aceptar** se abrirá el diálogo **Datos generales de la instalación**.

3.2.1.1. Carpeta general

Comience introduciendo los datos generales de la instalación: título, dirección, población, fecha y notas.

Estos datos generales de la instalación aparecerán reflejados en los listados de cálculo dentro de la instalación.

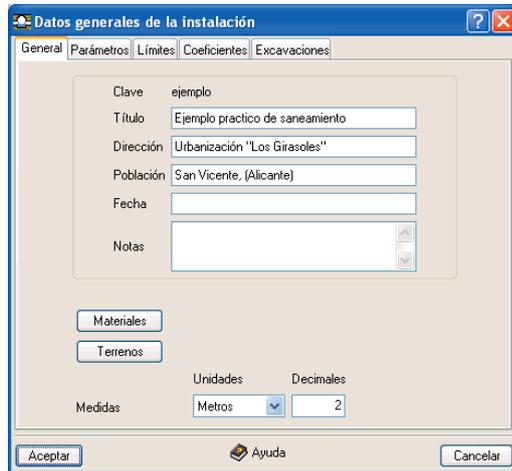


Fig. 3.21

Haga clic en el botón **Materiales** para seleccionar los que intervendrán en la obra. Seleccione el material que se muestra en la figura siguiente de la **Biblioteca CYPE** y pulse el botón  para utilizarlo como material de la obra.

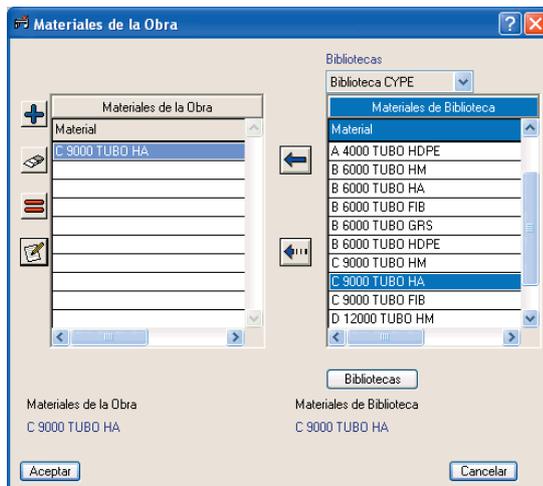


Fig. 3.22

Haga clic en el botón **Terrenos** para seleccionar los que intervendrán en la obra. Seleccione el terreno que se muestra en la figura siguiente de la **Biblioteca CYPE** y pulse el botón  para utilizarlo como terreno de la obra.



Fig. 3.23

3.2.1.2. Carpeta Parámetros

La formulación será la de Manning. El resto de valores déjelos a 0.

3.2.1.3. Carpeta Límites

La velocidad máxima en los tramos, para cualquier combinación será de 5 m/s, la mínima de 0.5 m/s. La presión pendiente máxima será del 15% y la mínima del 0.3%, ambas para cualquier combinación. El calado no tiene limitación.

3.2.1.4. Carpeta Coeficientes

El coeficiente de simultaneidad será de 1. La carga se introducirá por dotación y será de 0.04 l/s (por vivienda).

El prefijo de nudo de recogida será PS, el de vertedero SM y el de transición N.

3.2.1.5. Carpeta Excavaciones

La profundidad mínima de la conducción será de 1.50 m, y el espesor del firme de 0.35 m.

3.2.2. Hipótesis

En las primeras páginas de este capítulo se han especificado las hipótesis, combinaciones y coeficientes que intervendrán en el cálculo de la red.

Pulse **Datos generales > Editar hipótesis**. Configure las hipótesis simples que se muestran a continuación.



Fig. 3.24

3.2.3. Combinaciones

Pulse **Datos generales > Editar combinaciones**. Se abrirá una ventana en donde indicará el nombre de las combinaciones y coeficientes de combinación que se van a establecer para cada hipótesis. Coloque los valores indicados en la tabla de los coeficientes de combinación para las hipótesis simples en las primeras páginas de este capítulo.

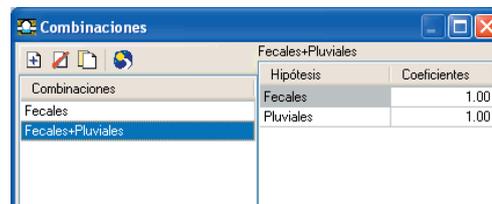


Fig. 3.25

3.2.4. Introducción de la geometría

Lo más cómodo es utilizar un DXF o DWG que sirva de plantilla para introducir la geometría. Para instalar en su disco duro el DXF de este ejemplo ejecute la opción **Archivo > Importar > Ejemplos de instalación**.

A continuación, para importar el fichero DXF a formato propio del programa siga estos pasos:

- Seleccione el icono **Editar Plantillas** de la barra de herramientas. Se abrirá la ventana **Gestión de vistas de DXF-DWG**.

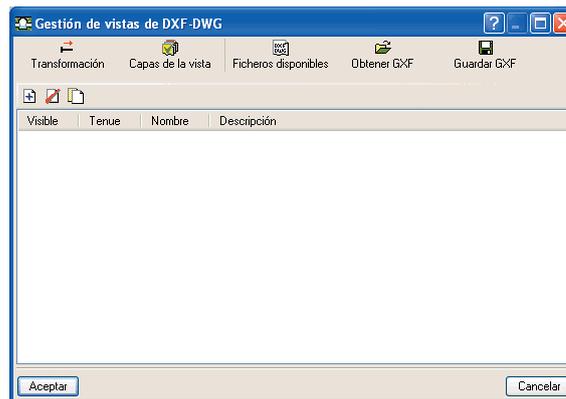


Fig. 3.26

- Pulse el icono **Añadir**. Se abrirá la ventana **Selección de ficheros DXF-DWG a leer** y se le pedirá que seleccione el tipo DXF.

Busque el fichero:

\\CYPE Ingenieros\Ejemplos\Alcantarillado\sanea.dxf.

Selecciónelo y pulse **Abrir**.

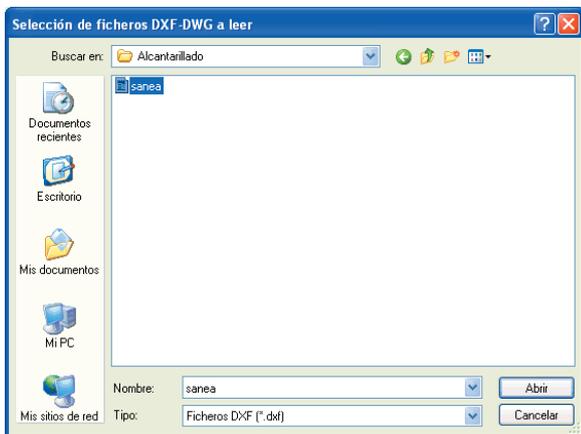


Fig. 3.27

- Pulse **Aceptar** para volver a la ventana **Gestión de vistas de DXF-DWG** y pulse **Aceptar** nuevamente para visualizarlo en pantalla.

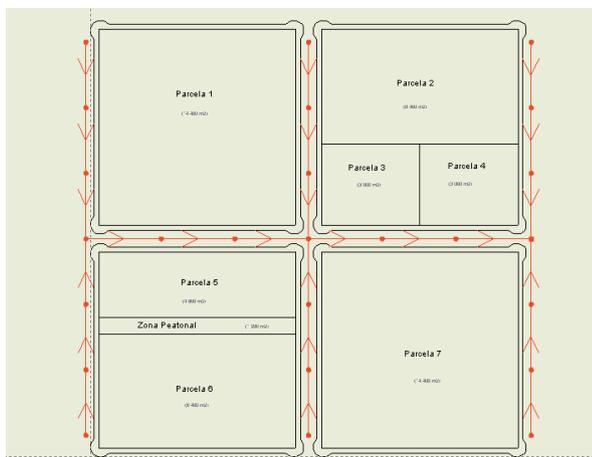


Fig. 3.28

Para la utilización de las capturas pulse en la barra de Herramientas sobre **Capturas a plantillas** y active, por ejemplo, **Intersección** o **Extremo**.

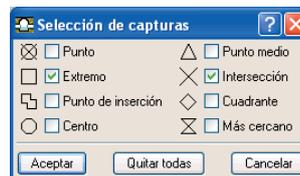


Fig. 3.29

Introduzca los tramos mediante la opción **Tramos > Nuevo**, y apoyándose en la plantilla. Aunque al introducir los tramos los nudos muestran unas referencias que no son las de la figura siguiente, se ha querido mostrar las referencias definitivas para que sirvan de guía al usuario en la posterior edición de nudos.

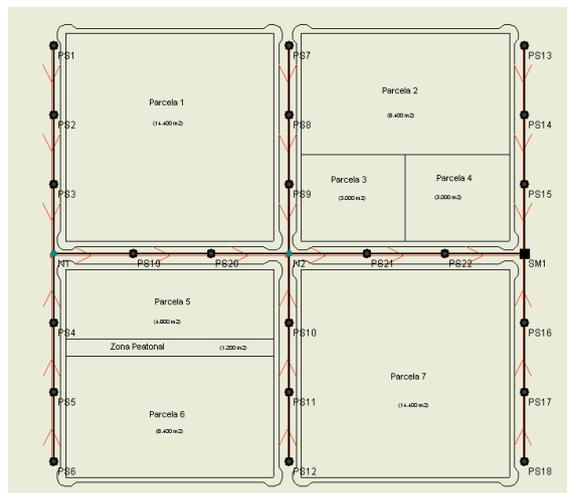


Fig. 3.30

Los nudos se crean por defecto como nudos de transición, es decir, nudos sin consumo que permiten realizar cambios de dirección conservando la unidad del tramo en el dimensionamiento.

3.2.5. Edición de nudos

Pulse **Nudos > Editar datos de cálculo**. Introduzca los datos de la figura siguiente en el nudo de vertedero (SM1).

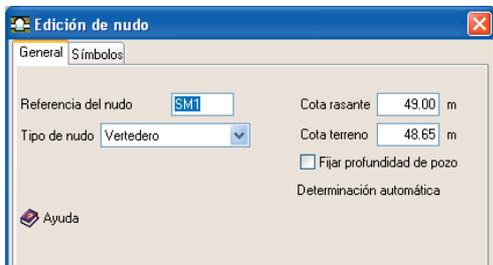


Fig. 3.31

Edite el nudo de consumo PS1 y asígnele una carga **Por Dotación**. Pulse el botón **Editar** para la hipótesis 'Fecales' e introduzca el número de unidades.

La dotación se indica en **Datos generales > Coeficientes**, y es de 0.04 l/seg/viv. El número de unidades es el número de viviendas a suministrar por nudo; aquí, 9. Por tanto, pulse **Editar** e introduzca los datos siguientes:

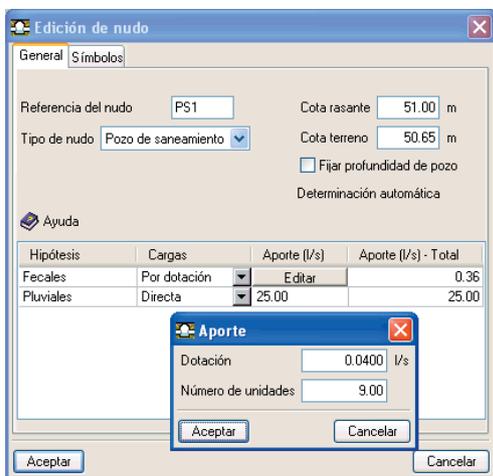


Fig. 3.32

Introduzca los datos del resto de los nudos según se muestra en la figura 3.20.

Es muy práctico introducir los datos de los nudos con el comando **Nudos > Asignar datos de cálculo**.

3.2.6. Edición de tramos

Aunque en este ejemplo se dejarán los datos por defecto, para modificar un tramo se utiliza la opción **Tramos > Editar datos de cálculo**, se pulsa sobre éste apareciendo la figura siguiente.

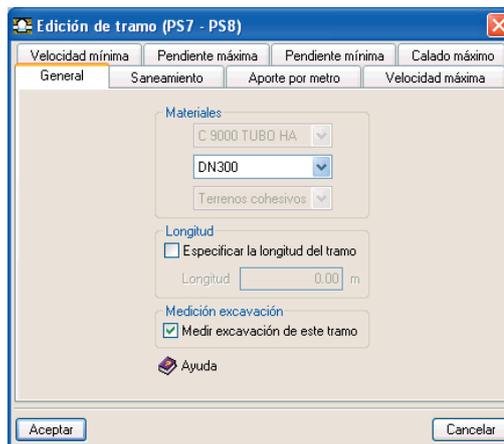


Fig. 3.33

Se abre una ventana en la que introducirá los datos particulares de dicho tramo, de forma que puedan ser diferentes a los datos generales.

Pulse sobre el botón de ayuda en pantalla para mayor información.

Es muy práctico introducir los datos de los nudos con el comando **Tramos > Asignar datos de cálculo**.

3.2.7. Cálculo

Para calcular la instalación, active menú **Cálculo > Calcular**. El programa comprobará la red con las dimensiones indicadas.

Una vez realizado, puede ocurrir que aparezca un informe en el que se muestran los errores que se han producido durante el cálculo.

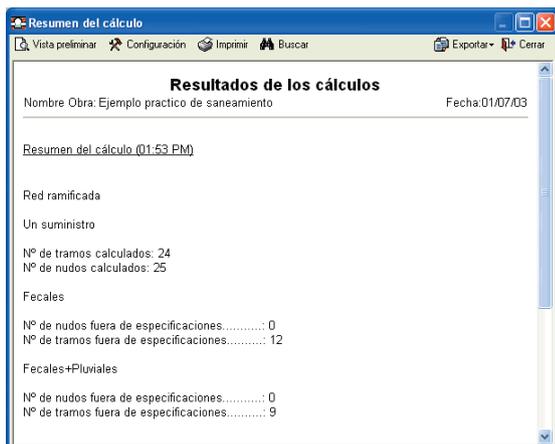


Fig. 3.34

El cálculo no se detiene por ningún motivo si la resolución de la instalación es posible.

Tras el cálculo, el programa mostrará la envolvente de máximos. Se mostrarán los nudos o tramos que no cumplen en color **rojo**.

Con  puede visualizar datos y resultados de las diferentes hipótesis, combinaciones y envolventes. Las envolventes sólo indicarán si el tramo cumple o no.

Para saber el motivo por el que un nudo o un tramo no cumple, debe activar una combinación. Verá una leyenda de colores que identifica los nudos y tramos con sus límites.

En la parte inferior podrá ver un rótulo que indica el nombre de la obra y la hipótesis, envolvente o combinación en la que se encuentra.

Para consultar los datos resultantes del cálculo de cada nudo o tramo para combinación pulse el botón **Información** tanto en el menú **Nudos** como en el menú **Tramos**.

Una vez comprobados todos los resultados del cálculo, tanto para tramos como para nudos, habrá que realizar las modificaciones necesarias para ajustar la red, de forma manual o de forma automática.

Si, después del cálculo, existen tramos o nudos que no cumplen todas las limitaciones impuestas, se puede recurrir a un dimensionamiento óptimo automático. Para más información sobre este aspecto consulte la **Memoria de cálculo de Alcantarillado**.

Pulse **Cálculo > Dimensionar**. El programa preguntará si desea asignar los resultados del predimensionado a la obra actual. Si pulsa **Sí**, se calculará la instalación con dicho dimensionamiento.

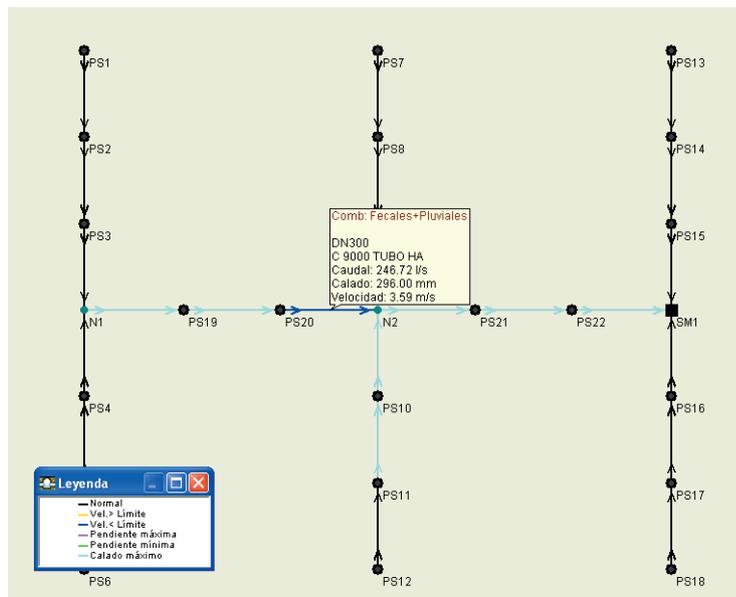


Fig. 3.35

3.3. Memoria de Electrificación

En las páginas siguientes se aborda el desarrollo de un ejemplo práctico que aconsejamos seguir paso a paso para el aprendizaje del manejo del programa. El ejemplo seleccionado tiene por objeto el cálculo de una red de baja tensión.

Con el programa se incluye dicha obra de ejemplo. Para acceder a ella siga estos pasos:

- Entre en el programa.
- Pulse **Archivo > Gestión archivos**. Se abre la ventana **Selección de Fichero**.
- Pulse el botón **Ejemplos**.

A continuación, ya puede abrir el archivo de obra disponible en la ruta: \CYPE Ingenieros\Ejemplos\Electrificación.

El cálculo de una red de media tensión o para alumbrado se realiza de la misma forma. En los casos significativos se incluirán los datos de cálculo para este tipo de redes.

La figura siguiente muestra la planta de distribución de parcelas de la que se realizará el cálculo.

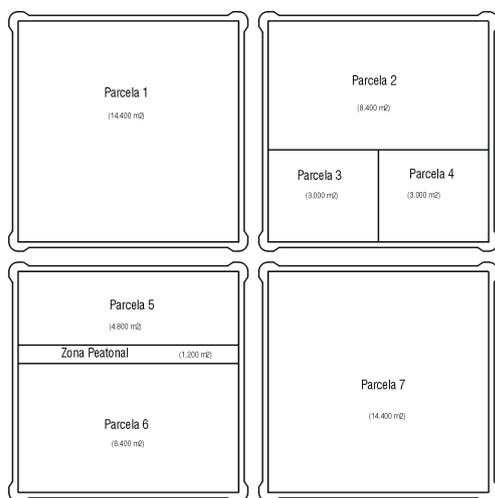


Fig.3.36

La red es de tipo ramificado. La población se estima según el Plan Parcial de la zona considerada. Se tendrá en cuenta un número de 4 habitantes por vivienda.

La dotación será según el cuadro mostrado a continuación, en el que se indican las potencias de cada CGP, que varía en función del número de abonados, grado de electrificación y coeficiente de simultaneidad, según la tabla contenida en la Instrucción MI BT 010.

Para obtener la carga total correspondiente a un edificio destinado principalmente a viviendas, habrá que añadir a la cifra anteriormente obtenida la carga correspondiente a los servicios generales del edificio.

La carga para la zona comercial será de 100 W/m² y para la zona docente 50 W/m².

CGP	Potencia (KW)
Cgp1	95
Cgp2	89
Cgp3	150
Cgp4	70
Cgp5	65
Cgp6	65
Cgp7	65
Cgp8	65
Cgp9	65
Cgp10	65
Cgp11	89

Tabla 3.2

Para media tensión, se asignarán 630 kVA a cada transformador y, para alumbrado público, 150 W a cada punto de luz.

Para media tensión, la red sería de aluminio. Para baja y alumbrado, de cobre.

Se considera una única hipótesis. Por tanto, no es necesario establecer ninguna combinación de cálculo.

Aunque en este ejemplo se seguirá el cálculo de una red de baja tensión, se muestran los esquemas de las redes de media, baja y alumbrado, puesto que se hará referencia a todas ellas a lo largo de estas páginas.

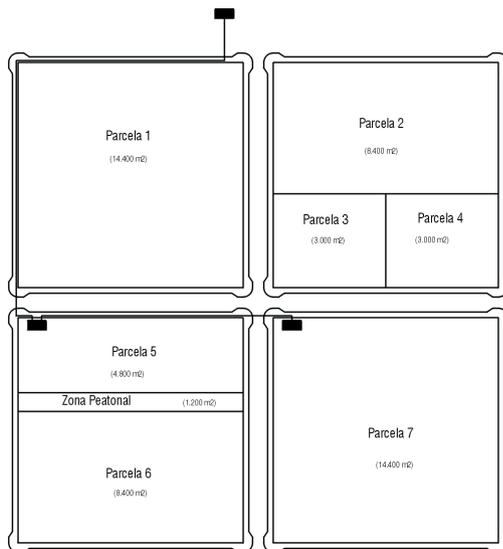


Fig. 3.37. Media Tensión

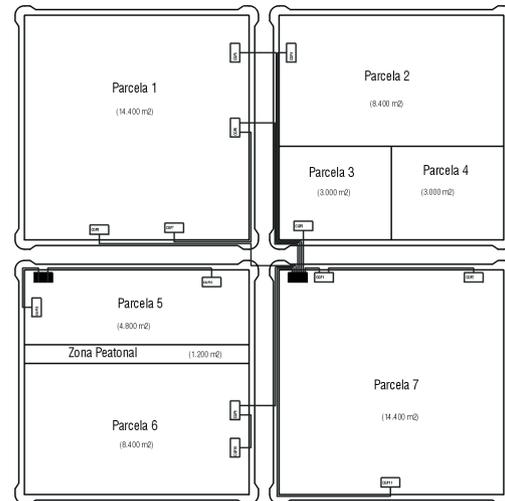


Fig. 3.38. Baja Tensión

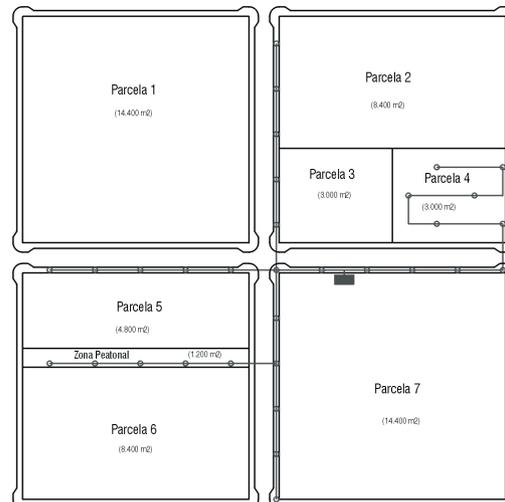


Fig. 3.39. Alumbrado

3.3.1. Datos generales

Active la opción **Archivo > Nuevo**. Verá en pantalla la ventana **Nueva Obra**.

Introduzca un nombre a la obra.

Al **Aceptar** se abrirá el diálogo **Datos generales de la instalación**.

3.3.1.1. Carpeta General

Comience introduciendo los datos generales de la instalación: título, dirección, población, fecha y notas.

Estos datos generales de la instalación aparecerán reflejados en los listados de cálculo dentro de la instalación.



Fig. 3.40

Haga clic en el botón **Materiales** para seleccionar los que intervendrán en la obra. Seleccione el material que se muestra en la figura siguiente de la **Biblioteca CYPE** y pulse el botón  para utilizarlo como material de la obra.

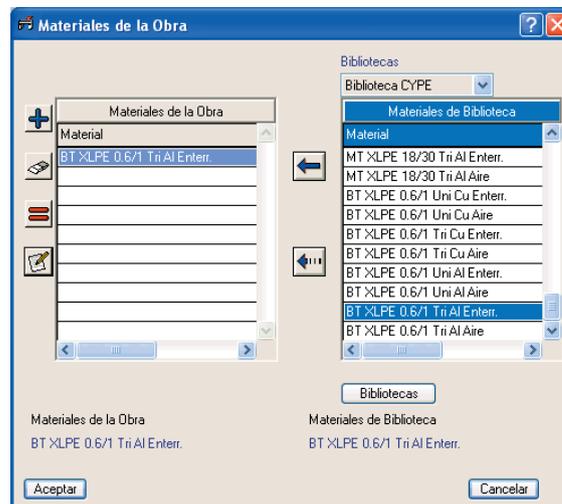


Fig. 3.41

Haga clic en el botón **Terrenos** para seleccionar los que intervendrán en la obra. Seleccione el terreno que se muestra en la figura siguiente de la **Biblioteca CYPE** y pulse el botón  para utilizarlo como terreno de la obra.

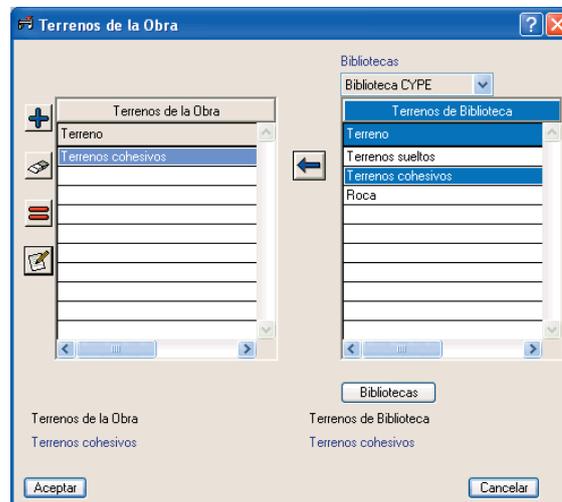


Fig. 3.42

3.3.1.2. Carpeta Parámetros

La distribución será trifásica a 380 V, el factor de potencia de 0.8, y la potencia de cortocircuito de 350 MVA.

3.3.1.3. Carpeta Límites

La caída de tensión admisible en tramos será del 5 %.

3.3.1.4. Carpeta Coeficientes

El coeficiente de simultaneidad será de 1, no hay en este caso coeficiente de mayoración de longitudes, la carga se introducirá por dotación y será de 5 kW (por vivienda).

El prefijo de nudo de consumo será CGP, el de suministro CT, y el de transición N.

3.3.1.5. Carpeta Excavaciones

La profundidad mínima de la conducción será de 1.30 m, y el espesor del firme de 0.35 m.

3.3.2. Hipótesis

Pulse **Datos generales > Editar hipótesis**. Configure las hipótesis simples que se muestran a continuación.

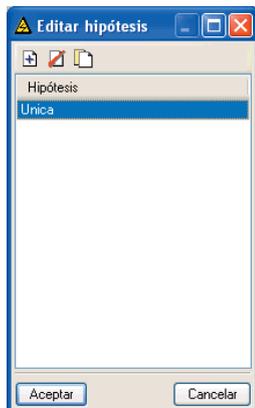


Fig. 3.43

3.3.3. Combinaciones

Pulse **Datos generales > Editar combinaciones**. Se abrirá una ventana en donde indicará el nombre de las combinaciones y coeficientes de combinación que se van a establecer para cada hipótesis.

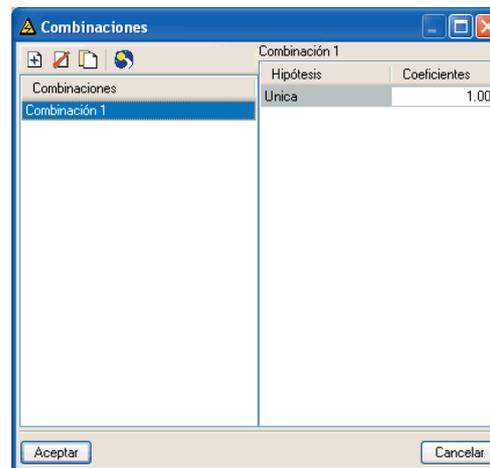


Fig. 3.44

3.3.4. Introducción de la geometría

Como lo más cómodo es utilizar un DXF o DWG que sirva de plantilla para introducir la geometría. Para instalar en su disco duro el DXF de este ejemplo ejecute la opción **Archivo > Importar > Ejemplos de instalación**.

A continuación, para importar el fichero DXF a formato propio del programa siga estos pasos:

- Seleccione el icono **Editar plantillas** de la barra de herramientas. Se abrirá la ventana **Gestión de vistas de DXF-DWG**.

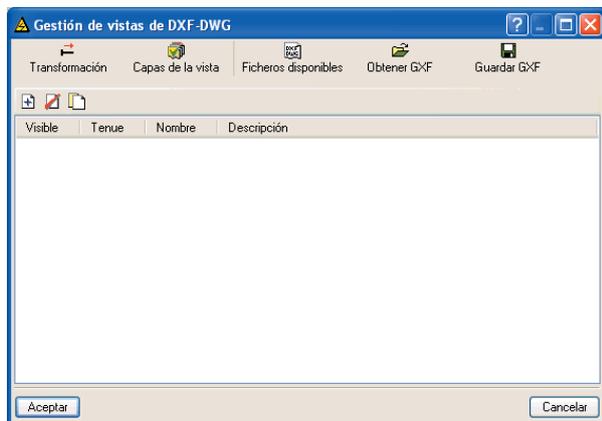


Fig. 3.45

- Pulse el icono **Añadir**. Se abrirá la ventana **Ficheros disponibles** y se le pedirá que seleccione el DXF. Busque el fichero:
 \CYPE Ingenieros\Ejemplos\Electrificación\electri.dxf.

Selecciónelo y pulse **Abrir**.

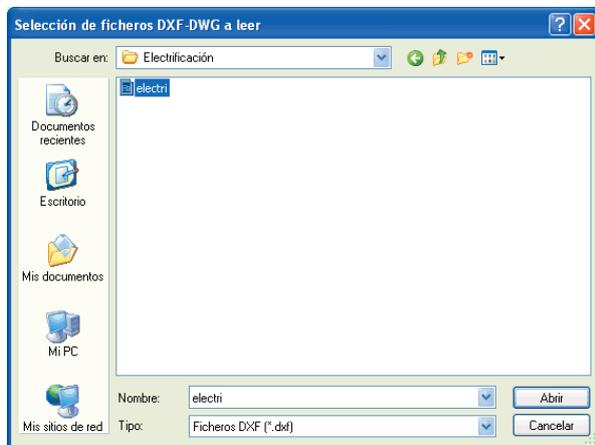


Fig. 3.46

- Pulse **Aceptar** para volver a la ventana **Gestión de vistas de DXF-DWG** y pulse **Aceptar** nuevamente para visualizarlo en pantalla.

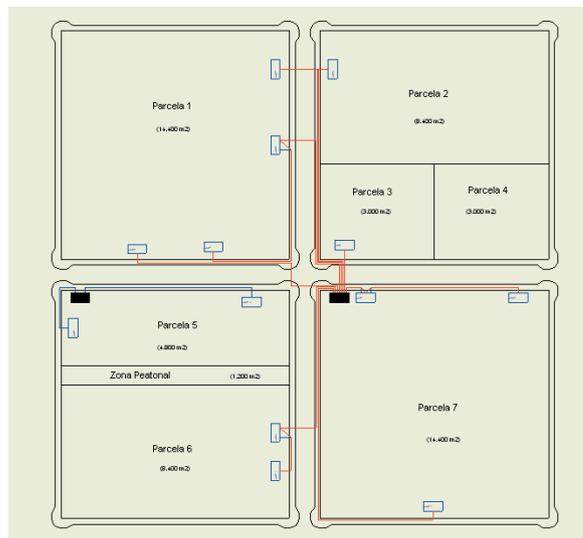


Fig. 3.47

Para la utilización de las capturas pulse en la barra de Herramientas sobre **Capturas a plantillas** y active por ejemplo **Intersección** o **Extremo**.

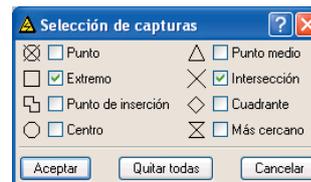


Fig. 3.48

Introduzca los tramos mediante la opción **Tramos > Nuevo**, apoyándose en la plantilla. Aunque al introducir los tramos los nudos muestran unas referencias que no son las de la figura siguiente, se ha querido mostrar las referencias

definitivas para que sirvan de guía al usuario en la posterior edición de nudos. No obstante, las referencias reales de los nudos también se muestran en la plantilla.

No introduzca el nudo de suministro y los consumos CGP12 y CGP13 que aparecen en la plantilla, ya que es una red independiente.

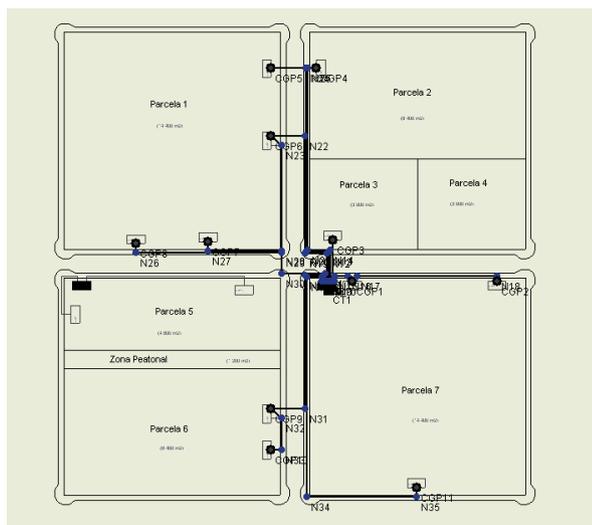


Fig. 3.49

Los nudos se crean por defecto como nudos de transición, es decir, nudos sin consumo que permiten realizar cambios de dirección conservando la unidad del tramo en el dimensionamiento.

3.3.5. Edición de nudos

Pulse **Nudos > Editar datos de cálculo**. Introduzca los datos de la figura siguiente en el nudo de suministro general (CT1).

Fig. 3.50

Edite el nudo de consumo CGP1 y asígnele una carga **Directa**.

Hipót...	Cargas	Potencia (kW)	Potencia - Total	cos Ø	Coef. uso
Unica	Directa	95.00	95.00	0.80	1.00

Fig. 3.51

Introduzca los datos del resto de los nudos según se muestra en la Tabla 3.1.

Es muy práctico introducir los datos de los nudos con el comando **Nudos > Asignar datos de cálculo**.

3.3.6. Edición de tramos

Aunque en este ejemplo se dejarán los datos por defecto, para modificar un tramo se utiliza la opción **Tramos > Editar datos de cálculo**. Se pulsa sobre ésta apareciendo la figura siguiente.



Fig. 3.52

Se abre una ventana en la que introducirá los datos particulares de dicho tramo, de forma que puedan ser diferentes a los datos generales.

Pulse sobre el botón de ayuda en pantalla para mayor información.

Es muy práctico introducir los datos de los nudos con el comando **Tramos > Asignar datos de cálculo**.

3.3.7. Cálculo

Para calcular la instalación, active menú **Cálculo > Calcular**. El programa comprobará la red con las dimensiones indicadas.

Una vez realizado puede ocurrir que aparezca un informe en el que se muestran los errores que se han producido durante éste.

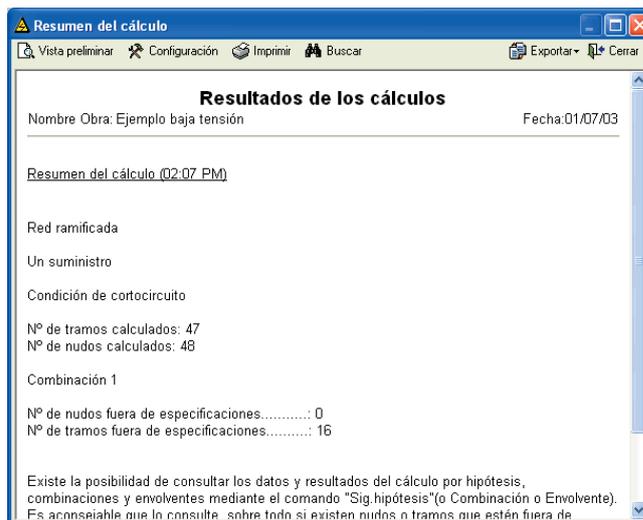


Fig. 3.53

El cálculo no se detiene por ningún motivo si la resolución de la instalación es posible.

Tras el cálculo, el programa mostrará la envolvente de máximos. Se mostrarán los nudos o tramos que no cumplen en color **rojo**.

Con  puede visualizar datos y resultados de las diferentes hipótesis, combinaciones y envolventes. Las envolventes sólo indicarán si el tramo cumple o no.

Para saber el motivo por el que un nudo o un tramo no cumple debe activar una combinación. Verá una leyenda de colores que identifica los nudos y tramos con sus límites.

En la parte inferior podrá ver un rótulo que indica el nombre de la obra y la hipótesis, envolvente o combinación en la que se encuentra.

Para consultar los datos resultantes del cálculo de cada nudo o tramo para combinación pulse el botón **Información** tanto en el menú **Nudos** como en el menú **Tramos**.

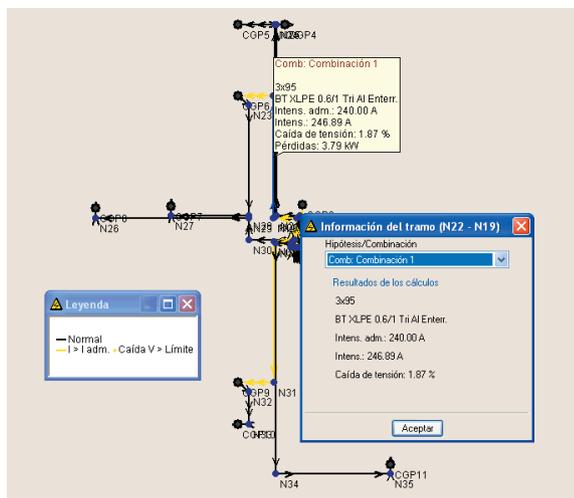


Fig. 3.54

Una vez comprobados todos los resultados del cálculo tanto para tramos como para nudos habrá que realizar las modificaciones necesarias para ajustar la red, de forma manual o de forma automática.

Si, después del cálculo, existen tramos o nudos que no cumplan todas las limitaciones impuestas, se puede recurrir a un dimensionamiento óptimo automático. Para más información sobre este aspecto consulte la **Memoria de cálculo de Electrificación**.

Pulse **Cálculo > Dimensionar**. El programa preguntará si desea asignar los resultados del predimensionado a la obra actual. Si pulsa **Sí**, se calculará la instalación con dicho dimensionamiento.

3.4. Memoria de Gas

En las páginas siguientes se desarrolla un ejemplo de cálculo de una red de gas que aconsejamos seguir paso a paso para aprender el manejo del programa. La figura siguiente muestra la planta de distribución de parcelas de la que se realizará el cálculo.

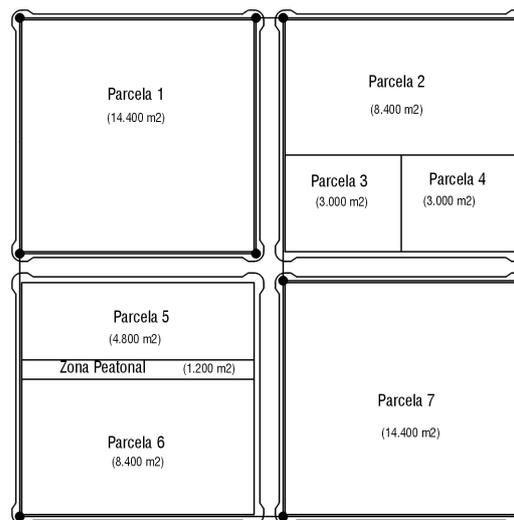


Fig. 3.55

Con el programa se incluye dicha obra de ejemplo. Para acceder al ella siga estos pasos:

- Entre en el programa.
- Pulse **Archivo > Gestión archivos**. Se abre la ventana **Selección de Fichero**.
- Pulse el botón **Ejemplos**.

A continuación, ya puede abrir el archivo de obra disponible en la ruta: \CYPE Ingenieros\Ejemplos\Gas.

La red es de tipo mallado. La población se estima según el Plan Parcial de la zona. Se tendrá en cuenta un número de 4 habitantes por vivienda.

La dotación por vivienda será $D = 1.2 \text{ m}^3/\text{h.viv}$. La dotación para la zona comercial será de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ y para la zona docente, de $40 \text{ m}^3/\text{h}$. Se calcula la red en su totalidad de polietileno, empezando con un diámetro para toda ella de 63 mm. Las hipótesis simples de cálculo consideradas son 'Viviendas' y 'Zonas comerciales + docentes'. Las siguientes combinaciones de cálculo son:

1. **Viviendas.** Con la dotación correspondiente a todas las viviendas.
2. **Viviendas + Zonas comerciales y docentes.** Con la dotación correspondiente a todas las viviendas y a las zonas comerciales y docentes.

La red de gas queda reflejada en este esquema:

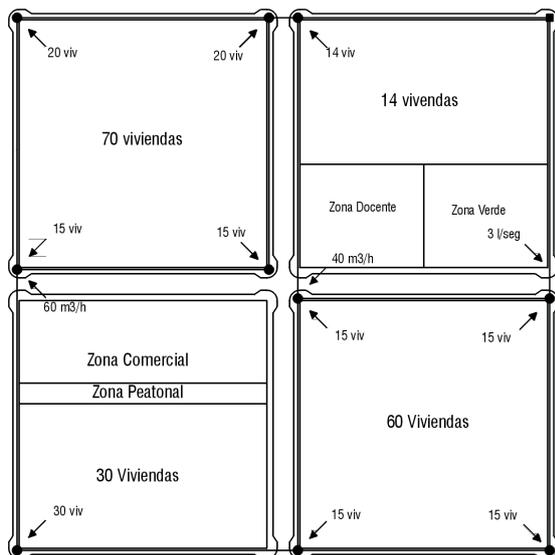


Fig. 3.56

3.4.1. Datos generales

Active la opción **Archivo > Nuevo**. Verá en pantalla la ventana **Nueva obra**.

Introduzca un nombre a la obra.

Al Aceptar se abrirá el diálogo **Datos generales de la instalación**.

3.4.1.1. Carpeta General

Comience introduciendo los datos generales de la instalación: título, dirección, población, fecha y notas.

Estos datos generales de la instalación aparecerán reflejados en los listados de cálculo dentro de la instalación.

Fig. 3.57

Haga clic en el botón **Materiales** para seleccionar los que intervendrán en la obra. Seleccione el material que se muestra en la figura siguiente de la **Biblioteca CYPE** y pulse el botón  para utilizarlo como material de la obra.

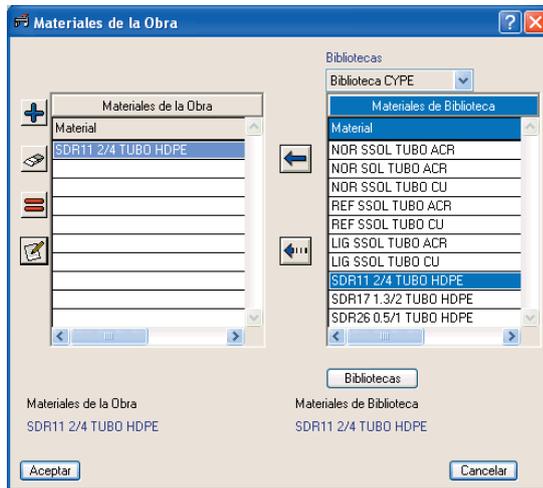


Fig. 3.58

Haga clic en el botón **Terrenos** para seleccionar los que intervendrán en la obra. Seleccione el terreno que se muestra en la figura siguiente de la **Biblioteca CYPE** y pulse el botón  para añadirlo a **Terrenos de la Obra**.



Fig. 3.59

3.4.1.2. Carpeta Parámetros

El consumo como se introducirá como caudal en lugar de potencia calorífica. La presión de servicio será de 0.1 bar. La densidad relativa del gas será 0.62. El coeficiente constante de la fórmula de Renouard lineal será de 23.2. El coeficiente constante de la fórmula de Renouard cuadrática será de 48.6. El coeficiente constante de la fórmula de la velocidad del gas será de 354. El coeficiente de compresibilidad del gas será de 1.

3.4.1.3. Carpeta Límites

La velocidad límite en los tramos será de 20 m/s. La presión mínima en los nudos será de 0.09 bar.

3.4.1.4. Carpeta Coeficientes

El coeficiente de simultaneidad será de 1. El coeficiente de mayoración de longitudes será del 20 %. La carga se introducirá por dotación y será de 1.2 m³/h (por vivienda).

El prefijo de nudo de consumo será NC, el de suministro SG y el de transición N.

3.4.1.5. Carpeta Excavaciones

La profundidad mínima de la conducción será de 0.70 m, y el espesor del firme de 0.35 m.

Active la casilla **Mostrar parámetros de excavación**.

3.4.2. Hipótesis

En las primeras páginas de este capítulo se han especificado las hipótesis, combinaciones y coeficientes que intervendrán en el cálculo de la red.

Pulse **Datos generales > Editar hipótesis**. Configure las hipótesis simples que se muestran a continuación.



Fig. 3.60

3.4.3. Combinaciones

Pulse **Datos generales > Editar combinaciones**. Se abrirá una ventana en donde indicará el nombre de las combinaciones y coeficientes de combinación que se van a establecer para cada hipótesis. Coloque los valores indicados en la tabla de los coeficientes de combinación para las hipótesis simples en las primeras páginas de este capítulo.

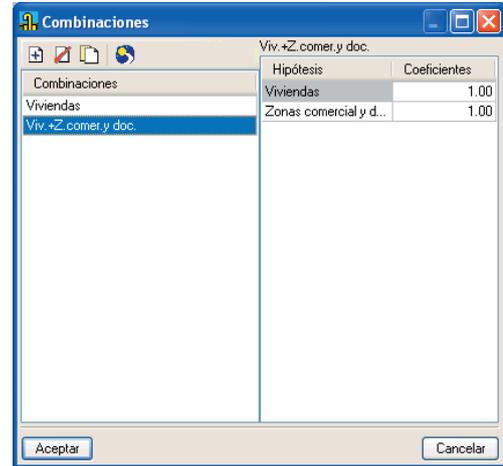


Fig. 3.61

3.4.4. Introducción de la geometría

Como lo más cómodo es utilizar un DXF o DWG que sirva de plantilla para introducir la geometría. Para instalar en su disco duro el DXF de este ejemplo ejecute la opción **Archivo > Importar > Ejemplos de instalación**.

A continuación, para importar el fichero DXF a formato propio del programa siga estos pasos:

- Seleccione el icono **Editar plantillas** de la barra de herramientas. Se abrirá la ventana **Gestión de vistas de DXF-DWG**.

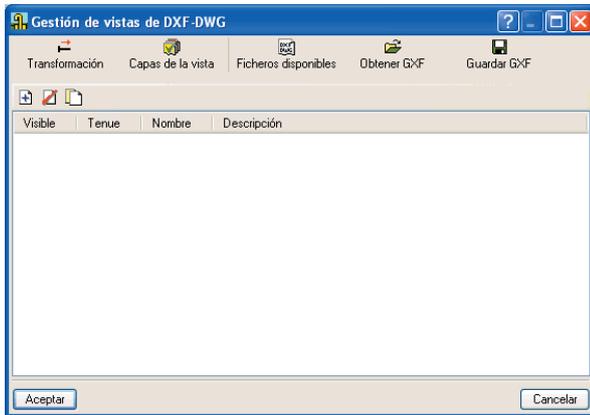


Fig. 3.62

- Pulse el icono **Añadir**. Se abrirá la ventana **Selección de ficheros DXF-DWG a leer** y se le pedirá que seleccione el tipo DXF.

Busque el fichero:

\CYPE Ingenieros\Ejemplos\gas\gas.dxf.

Selecciónelo y pulse **Abrir**.

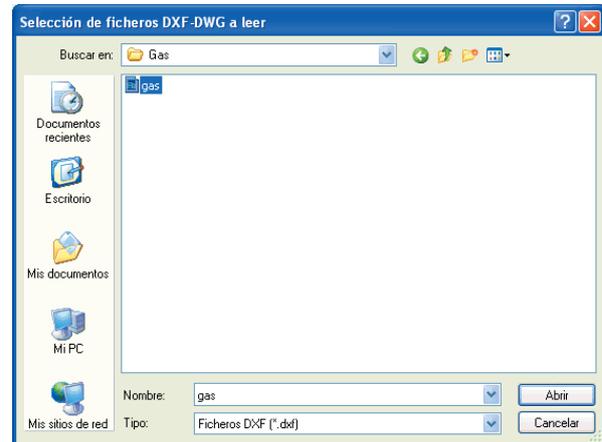


Fig. 3.63

- Pulse **Aceptar** para volver a la ventana **Gestión de vistas de DXF-DWG** y pulse **Aceptar** nuevamente para visualizarlo en pantalla.

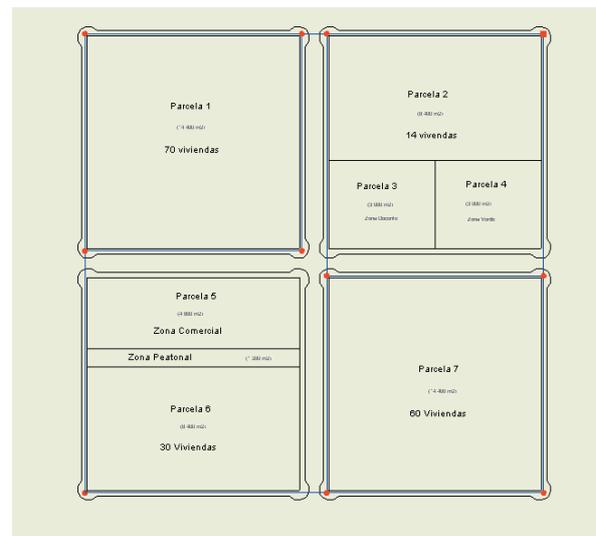


Fig. 3.64

Para la utilización de las capturas pulse en la barra de Herramientas sobre **Capturas a plantillas** y active por ejemplo **Intersección** o **Extremo**.

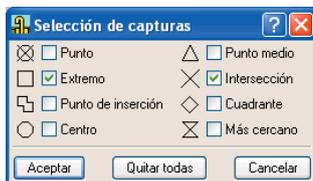


Fig. 3.65

Introduzca los tramos mediante la opción **Tramos > Nuevo**, apoyándose en la plantilla. Aunque al introducir los tramos los nudos muestran unas referencias que no son las de la figura siguiente, se ha querido mostrar las referencias definitivas para que sirvan de guía al usuario en la posterior edición de nudos.

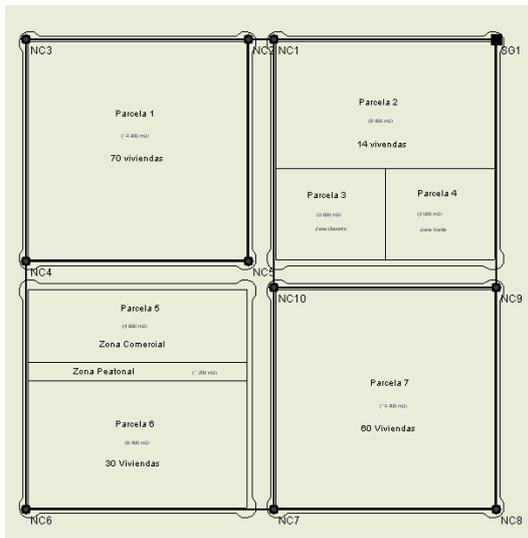


Fig. 3.66

Los nudos se crean por defecto como nudos de transición, es decir, nudos sin consumo que permiten realizar cambios de dirección conservando la unidad del tramo en el dimensionamiento.

3.4.5. Edición de nudos

Pulse **Nudos > Editar datos de cálculo**. Introduzca los datos de la figura siguiente en el nudo de suministro general (SG1).

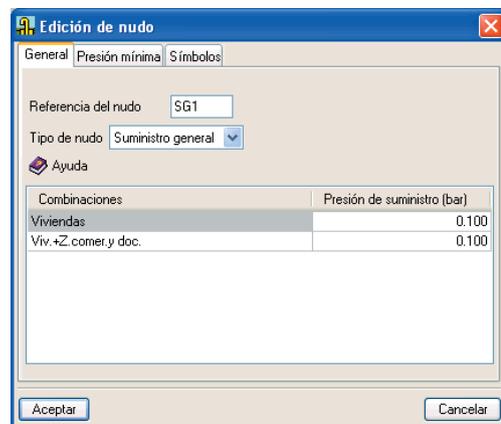


Fig. 3.67

El nudo de consumo NC1 tiene una determinación de carga **Por Dotación**. En la tabla de cargas pulse en la columna **Caudal (l/seg)** sobre **Editar** de la hipótesis correspondiente, en este caso 'Viviendas'.

La dotación se indica en **Datos generales > Coeficientes**, y es de 1.2 m³/h. El número de unidades es el número de viviendas a suministrar por nudo; aquí, 14. Por tanto, pulse **Editar** e introduzca los datos siguientes:



Fig. 3.68

Introduzca los datos del resto de los nudos según se muestra en la figura 3.56.

Es muy práctico introducir los datos de los nudos con el comando **Nudos > Asignar datos de cálculo**.

3.4.6. Edición de tramos

Aunque en este ejemplo se dejarán los datos por defecto, para modificar un tramo se utiliza la opción **Tramos > Editar datos de cálculo**, y se pulsa sobre ésta apareciendo la figura siguiente.



Fig. 3.69

Se abre una ventana en la que introducirá los datos particulares de dicho tramo, de forma que puedan ser diferentes a los datos generales.

Pulse sobre el botón de ayuda en pantalla para mayor información.

Es muy práctico introducir los datos de los nudos con el comando **Tramos > Asignar datos de cálculo**.

3.4.7. Cálculo

Para calcular la instalación, active menú **Cálculo > Calcular**. El programa comprobará la red con las dimensiones indicadas.

Una vez realizado, puede ocurrir que aparezca un informe en el que se muestran los errores que se han producido durante el cálculo.

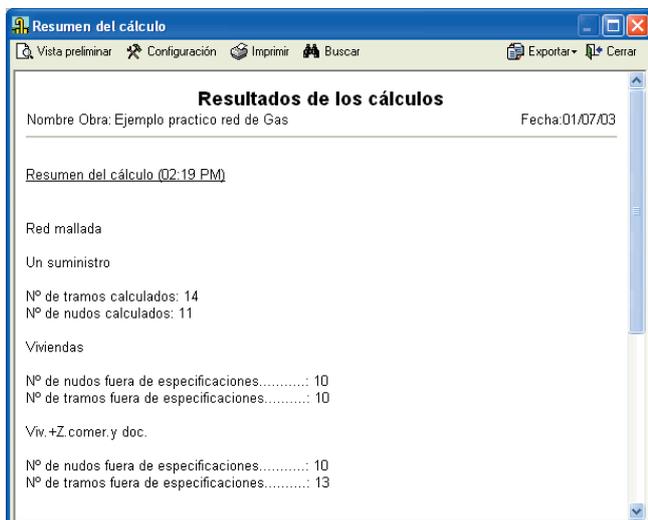


Fig. 3.70

El cálculo no se detiene por ningún motivo si la resolución de la instalación es posible.

Tras el cálculo, el programa mostrará la envolvente de máximos. Se mostrarán los nudos o tramos que no cumplen en color **rojo**.

Con  puede visualizar datos y resultados de las diferentes hipótesis, combinaciones y envolventes. Las envolventes sólo indicarán si el tramo cumple o no.

Para saber el motivo por el que un nudo o un tramo no cumple debe activar una combinación. Verá una leyenda de colores que identifica los nudos y tramos con sus límites.

En la parte inferior podrá ver un rótulo que indica el nombre de la obra y la hipótesis, envolvente o combinación en la que se encuentra.

Para consultar los datos resultantes del cálculo de cada nudo o tramo para combinación pulse el botón **Información** tanto en el menú **Nudos** como en el menú **Tramos**.

Una vez comprobados todos los resultados del cálculo tanto para tramos como para nudos habrá que realizar las modificaciones necesarias para ajustar la red, de forma manual o de forma automática.

Si, después del cálculo, existen tramos o nudos que no cumplan todas las limitaciones impuestas, se puede recurrir a un dimensionamiento óptimo automático. Para más información sobre este aspecto consulte la **Memoria de cálculo de Gas**.

Pulse **Cálculo > Dimensionar**. El programa preguntará si desea asignar los resultados del predimensionado a la obra actual. Si pulsa **Sí**, se calculará la instalación con dicho dimensionamiento.

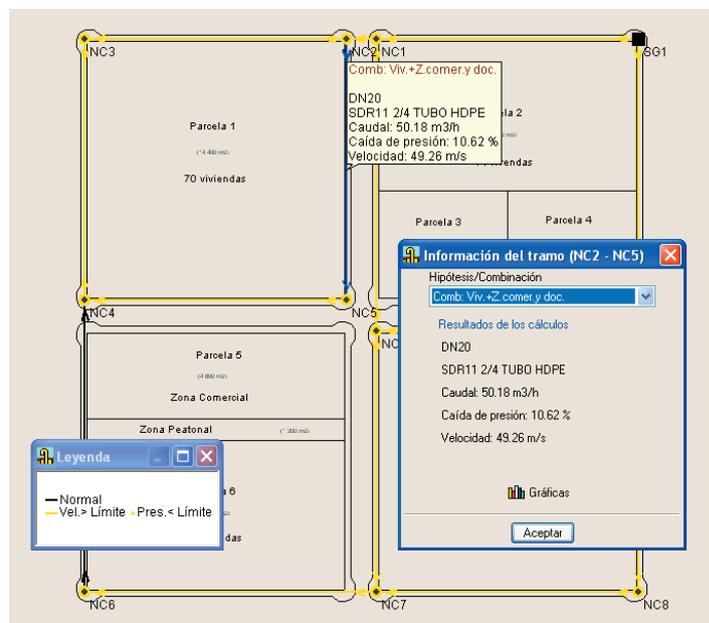


Fig. 3.71