



ALLIEVI

MANUAL TÉCNICO



ALLIEVI - Todos los derechos reservados
Versión 2.2.0.0, Junio de 2015

ITA

Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera s/n - Edificio 5C 46022
Valencia (Spain)

Ph: (+34) 96 387 98 98

Fax: (+34) 96 387 98 99

Contenido

Contenido	3
Requisitos del sistema.....	7
Registro	7
Activación	7
1. Introducción	8
2. Fundamentos de cálculo de ALLIEVI.....	10
2.1 Conductos a presión.....	10
2.2 Conductos en lámina libre	11
2.3 Cálculo del régimen permanente.....	13
3. Elementos del sistema a simular en ALLIEVI	13
3.1 Dibujar elementos.....	14
3.2 Nudos	16
3.3 Depósitos.....	17
3.3.1 Depósitos de grandes dimensiones.....	17
3.3.2 Depósitos de pequeñas dimensiones	19
3.3.3 Depósitos de sección variable	19
3.3.4 Depósitos con división y vertedero.....	21
3.3.5 Otras características de los depósitos.....	22
3.3.5.1 Aliviadero en depósitos de pequeñas dimensiones o de sección variable.....	22
3.3.5.2 Cambio del nivel del agua durante el cálculo del régimen permanente en depósitos de pequeñas dimensiones, de sección variable o con división y vertedero	24
3.4 Tuberías	25
3.4.1 Ventosas en la tubería.....	28
3.4.1.1 Configuración de las Ventosas	30
3.4.2 Rotura de tubería.....	32
3.4.3 Tuberías con caudal inicial nulo.....	33
3.5 Estaciones de bombeo.....	35
3.5.1 Bombas con curvas características universales.....	38

3.5.2	Bombas con curvas características por puntos	39
3.5.3	Válvulas de grupo: Válvula de retención.....	41
3.5.4	Válvulas de grupo: Válvula de regulación.....	41
3.5.5	Válvulas de grupo: By-pass en la estación de bombeo	43
3.5.6	Estaciones de bombeo con grupos inicialmente en marcha	43
3.5.7	Estaciones de bombeo con grupos inicialmente parados.....	44
3.6	Estructuras de control de caudal	45
3.6.1	Válvulas de regulación	46
3.6.2	Válvulas de retención	50
3.6.3	Válvulas de alivio	51
3.6.4	Válvulas de sobrevelocidad	54
3.6.5	Inyectores.....	58
3.6.6	Pérdida de carga localizada	60
3.6.7	Válvula compuesta	60
3.6.8	Válvulas automáticas	62
3.7	Estructuras de protección	65
3.7.1	Depósitos hidroneumáticos o Calderines.....	66
3.7.2	Chimeneas de equilibrio.....	69
3.7.2.1	Chimeneas de sección constante.....	70
3.7.2.2	Chimeneas de sección variable	71
3.7.2.3	Chimeneas diferenciales	72
3.7.3	Tanques unidireccionales	74
3.7.4	Otros datos de las estructuras de protección.....	75
3.7.4.1	Datos del ramal de unión.....	75
3.7.4.2	Activación o desactivación de estructuras de protección.....	77
3.8	Ley de caudal o de altura	78
3.8.1	Ley de caudal	78
3.8.1.1	Ley de caudal por ley de Q.....	79
3.8.1.2	Ley de caudal por presión.....	80
3.8.1.3	Ley de caudal por tabla.....	81
3.8.2	Ley de altura.....	82
3.8.2.1	Ley de altura sin depósito asociado.....	83

3.8.2.2	Ley de altura con depósito asociado	84
3.9	Turbinas Francis	85
3.9.1	Datos generales de las turbinas.....	87
3.9.2	Datos del punto óptimo de funcionamiento de las turbinas	88
3.9.3	Variación de la carga	89
3.9.4	Cierre del distribuidor por desconexión de la turbina	90
3.9.5	Datos del regulador de las turbinas.....	91
3.10	Conductos en lámina libre	92
3.10.1	Canal de sección rectangular.....	93
3.10.2	Canal de sección trapecial.....	94
3.10.3	Canal de sección circular	94
3.10.4	Canal de sección cualquiera.....	95
3.10.5	Datos para canal con caudal inicial nulo	96
4.	Configuración de un proyecto nuevo en ALLIEVI	97
4.1	Configuración de las opciones del programa.....	97
5.	Entorno de trabajo de ALLIEVI.....	99
5.1	Herramientas de visualización	99
5.1.1	Ajuste al ancho o alto pantalla.....	99
5.1.2	Herramientas de Zoom	100
5.1.3	Herramientas de Bloqueo	101
5.1.4	Vista Esquemática.....	102
5.1.5	Diseño del Menú.....	102
5.2	Etiquetas.....	103
5.2.1	Introducir Etiqueta	103
5.2.2	Posición de las Etiquetas.....	104
5.2.3	Mostrar u Ocultar Etiquetas	104
5.3	Herramientas Avanzadas de Dibujo	105
5.3.1	Dibujo Rápido	105
5.3.2	Cambiar de Tubería a Poli tubería	106
5.3.3	Edición de Vértices.....	106
5.4	Creación de escenarios	107
6.	Asistente de resultados	110

6.1	Resultados del régimen permanente.....	110
6.2	Resultados del régimen transitorio.....	111
6.2.1	Asistente de Resultados	112
6.2.2	Resultados con un Click Chart.....	118
6.2.3	SmartCharts	119
7.	Compatibilidad de ALLEIVI con Epanet y AutoCad	121
8.	Atajos con el teclado	124

Requisitos del sistema

- Para la instalación de ALLIEVI se debe disponer de un ordenador con:
 - Un procesador Intel ® Core Duo o superior (o un procesador equivalente en el caso de AMD);
 - Windows 7
 - 2 GB como mínimo de memoria RAM;
 - 100 MB como mínimo de espacio libre en el disco;
 - Un monitor con resolución de 1.280 x 1.024, con calidad de color de 32 bits (recomendada)
 - Conexión a internet. Recomendada banda ancha ⁽¹⁾
 - Adobe® Reader o compatible
 - .NET Framework 3.5

(1) Este software requiere conexión a Internet. La primera vez que ejecute ALLIEVI el programa tendrá que activarse, ya que no es posible usar ALLIEVI sin activarlo. Para hacer esto necesitará una conexión a Internet para validar su copia de ALLIEVI contra nuestros servidores y será requerida periódicamente para revalidar la licencia.

Registro

Durante el proceso de instalación de ALLIEVI, el sistema requerirá que se introduzcan los datos de la licencia. Si no se provee esta información durante la instalación, no será posible utilizar el programa.

Activación

La primera vez que ejecute el programa, éste deberá ser activado. Para ello, necesitará una conexión a Internet para validar su copia en los servidores del ITA.

1. Introducción

Este manual técnico de ALLIEVI ha sido elaborado con la intención de ofrecer al usuario las herramientas y los conceptos necesarios para el uso adecuado de este programa, en concreto para aquellos que cuentan con conocimientos básicos de hidráulica o tienen experiencia en el uso de programas informáticos de simulación de transitorios hidráulicos (golpe de ariete). Por otro lado, se recomienda también seguir los videos tutoriales que se encuentran disponibles en la página web www.allievi.net, así como otros recursos informáticos muy prácticos como FAQs, entre otros que están disponibles en dicha pagina.

El programa ALLIEVI es un paquete informático cuyo objetivo es simular y/o analizar los efectos transitorios en un sistema hidráulico a presión. El programa admite que por el interior del sistema el líquido circula por gravedad a partir de una serie de depósitos elevados, impulsado por un conjunto de estaciones de bombeo, o por una combinación de depósitos y estaciones de bombeo. Este líquido circulará a presión por el interior de las tuberías del sistema, las cuales pueden formar una red de tipo ramificada, mallada o mixta.

Para la regulación del caudal circulante por las tuberías, el sistema puede disponer de válvulas de diferentes tipos instaladas en serie con dichas tuberías, o con descarga al exterior. Algunas de estas válvulas pueden funcionar, además, como sistemas de protección contra transitorios hidráulicos.

En un sistema hidráulico funcionando en régimen permanente, los transitorios se pueden generar por las maniobras de los elementos activos del sistema. Este régimen transitorio significa un cambio en el espacio y en el tiempo de las condiciones de funcionamiento del sistema, cuando pasa del régimen permanente inicial al régimen permanente final tras las maniobras de los elementos activos. Desde este punto de vista las maniobras que generan transitorios son, principalmente, la puesta en marcha y la parada de bombas, así como la apertura y el cierre de válvulas.

En los sistemas hidráulicos existen además otras acciones que provocan transitorios. Estas son los cambios de nivel del líquido en los depósitos, la modulación del consumo en una red de distribución y la rotura de una conducción en un momento determinado. De estas tres acciones, las dos primeras se consideran en general como maniobras lentas o muy lentas, razón por la cual el transitorio generado tiene poca importancia. Sin embargo, la rotura de una conducción puede provocar un transitorio rápido, máximo cuando dicha rotura es considerable y se produce en un intervalo de tiempo relativamente corto.

Durante el transitorio, y mientras el sistema se va adaptando de un régimen permanente a otro, se producen intercambios de energía cinética a energía de presión, y de ésta a energía cinética, con las consiguientes oscilaciones de caudal, velocidad y presión en el interior de las conducciones. Las oscilaciones de caudal y velocidad no tienen consecuencias directas sobre el sistema, pero las oscilaciones de presión producen cambios de presión entre valores máximos y mínimos. Son los valores máximos de presión los que pueden romper las conducciones del sistema, y ello si no se dispone de resistencia mecánica suficiente o no se protege adecuadamente la instalación.

Por otra parte, las presiones mínimas pueden no producir ningún efecto si se mantienen por encima de la presión atmosférica. Pero si descienden por debajo de esta presión someten a las conducciones a una depresión que puede producir entrada de aire o líquidos a través de pequeñas grietas o fisuras, con el consiguiente peligro de intrusión patógena, o colapso de la conducción si ésta tiene una relación espesor/diámetro suficientemente baja.

Por otra parte, si las presiones mínimas descienden por debajo de la tensión de vapor del líquido transportado, se produce ebullición con la consiguiente formación de bolsas de vapor que ocasionan rotura de la columna líquida (o la llamada separación de columna). Posteriormente, cuando la presión oscilante alcanza valores por encima de la tensión de vapor, el vapor formado condensa y las bolsas de vapor tienden a desaparecer. Ello ocasiona que las dos columnas líquidas separadas se dirijan una contra otra llegando a chocar entre sí al desaparecer las bolsas de vapor. Estos choques pueden producir unos picos de presión en el interior de las conducciones con valores máximos superiores a los que se producen si no hay separación de columna, con el consiguiente peligro adicional de rotura de la instalación.

A la vista de los efectos perjudiciales que se pueden producir durante el desarrollo de un transitorio hidráulico la solución es, o bien proporcionar al sistema una resistencia mecánica capaz de soportar las oscilaciones de presión, o proteger la instalación para disminuir la amplitud de dichas oscilaciones y mantenerlas dentro de unos límites aceptables. Y para proceder de una u otra manera se requiere de un programa informático que simule el transitorio y proporcione, entre otros resultados, las oscilaciones de presión que se producen tras una maniobra determinada. Este es, como se ha indicado, el objetivo principal del programa ALLIEVI.

Por lo que acabamos de indicar, ALLIEVI es un programa que se puede utilizar tanto en la fase de diseño como en la fase de verificación del funcionamiento de un sistema hidráulico. En la fase de diseño el programa permite incorporar al

sistema diferentes dispositivos de protección (calderines, chimeneas de equilibrio, válvulas de alivio, etc), de manera que las oscilaciones de presión generadas por diferentes maniobras de los elementos del sistema se mantengan dentro de determinados límites previamente fijados. Por otra parte, en la fase de verificación el programa permite visualizar los efectos transitorios al efectuar maniobras en una instalación previamente diseñada.

2. Fundamentos de cálculo de ALLIEVI

2.1 Conductos a presión

En un conducto a presión, el transitorio hidráulico se modela aplicando las ecuaciones de conservación de masa y de cantidad de movimiento a un volumen de control que incluye la onda de presión que se mueve a lo largo de la conducción. De aquí se obtiene un sistema de dos ecuaciones diferenciales no lineales con dos incógnitas, siendo éstas la altura piezométrica $H = H(x, t)$ y la velocidad $V = V(x, t)$. La forma de este sistema de ecuaciones es la siguiente:

$$\begin{aligned}\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} + f \frac{V|V|}{2D} &= 0\end{aligned}\tag{1}$$

Como este sistema no tiene solución analítica, para su integración el procedimiento habitual es admitir que la solución se obtendrá en instantes de tiempo determinados (separados entre sí un Δt) y en puntos concretos sobre la conducción (separados entre sí un Δx), cumpliéndose la condición

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = a\tag{2}$$

siendo “a” la celeridad de la onda de presión en la tubería. Esta celeridad, para el caso del agua, se calcula por medio de la expresión

$$a = \frac{9.900}{\sqrt{47'6 + C \frac{D}{e}}}\tag{3}$$

en la que el coeficiente C depende del material de la tubería.

Con esta hipótesis, las ecuaciones diferenciales anteriores se transforman en un sistema de dos ecuaciones algebraicas, lineales, con dos incógnitas, de la forma:

$$H_i^{n+1} - H_{i-1}^n + \frac{a}{g}(V_i^{n+1} - V_{i-1}^n) + \frac{f_{i-1}^n \Delta x}{D} V_{i-1}^n |V_{i-1}^n| = 0$$

$$H_i^{n+1} - H_{i+1}^n - \frac{a}{g}(V_i^{n+1} - V_{i+1}^n) - \frac{f_{i+1}^n \Delta x}{D} V_{i+1}^n |V_{i+1}^n| = 0$$
(4)

con las que se puede calcular la altura piezométrica H y la velocidad V en el punto i de la tubería y en el instante de cálculo $n+1$, a partir de los valores de H y V de los puntos $i-1$ e $i+1$ en el instante n . La aplicación de las expresiones (4) es lo que se llama “**MÉTODO DE LAS CARACTERÍSTICAS**”, y es el fundamento de cálculo del programa ALLIEVI.

El sistema (4) se puede resolver para todos los puntos de cálculo de cualquier conducto excepto en sus extremos, donde falta una de las dos ecuaciones. En dichos extremos, donde se supone que la tubería se conecta con algún elemento del sistema, la ecuación que falta se sustituye por la ecuación, o conjunto de ecuaciones, que representan el comportamiento de dicho elemento, y que se denominan “**condiciones de contorno**”. Así, el programa ALIEVI permite simular el funcionamiento en régimen transitorio de un sistema hidráulico a presión incluyendo los siguientes elementos, conectados entre sí a través del correspondiente sistema de tuberías:

1. Depósitos, con o sin vertederos o aliviaderos
2. Estaciones de bombeo
3. Estructuras de control de caudal, constituidos por válvulas o pérdidas de carga localizadas
4. Estructuras de protección, constituidas por chimeneas, tanques unidireccionales o calderines
5. Ventosas, que se pueden distribuir a lo largo de las conducciones
6. Imposición de leyes de caudal o de altura piezométrica en puntos extremos de tuberías
7. Turbinas Francis

2.2 Conductos en lámina libre

Por otra parte el transitorio en un conducto en lámina libre se puede producir, entre otros, por el accionamiento de compuertas, por cambios de nivel del agua en los depósitos conectados al conducto, o por las variaciones del caudal de aporte o detracción por diversas causas. El régimen transitorio en estos conductos se rige por las ecuaciones de Saint-Venant, que se derivan de la aplicación de las ecuaciones de conservación de masa y de cantidad de movimiento a un volumen

de control que incluye el cambio en las condiciones del flujo en el conducto. La forma que tienen estas ecuaciones es la siguiente:

$$\begin{aligned}\frac{\partial y}{\partial t} + V \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{A}{T} \frac{\partial V}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(s_0 - s_f) &= 0\end{aligned}\tag{5}$$

donde las incógnitas son el calado $y = y(x, t)$ y la velocidad $V = V(x, t)$, ambas en función de la posición a lo largo del conducto y del tiempo. En la expresión (5), A es la sección ocupada por el flujo, T el ancho de la superficie libre definido por la sección A , s_0 la pendiente de solera del canal y s_f la pendiente hidráulica definida por la expresión

$$s_f = \frac{n^2 V^2}{R_h^{4/3}}\tag{6}$$

con n el coeficiente de Manning y R_h el radio hidráulico de la sección ocupada por el fluido. Aceptando determinadas simplificaciones, el sistema (5) se puede resolver de forma semejante al (1) por el método de las características, y con una formulación paralela a la (4). En este caso la expresión (2) se sustituye por

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = V \pm c\tag{7}$$

donde c es la celeridad de la onda de gravedad en el conducto, de valor

$$c = \sqrt{g \frac{A}{T}}\tag{8}$$

ALLIEVI permite simular el transitorio en sistemas donde existan conductos a presión y en lámina libre, aplicando el método de las características al conjunto de ambos tipos de conductos cada uno de ellos con su propia formulación. Como el tiempo característico para la resolución de los transitorios a presión es de décimas o centésimas de segundo y para los de lámina libre de segundos, el incremento de tiempo para la resolución del transitorio en lámina libre deberá ser múltiplo del incremento de tiempo para la resolución del transitorio a presión.

En este programa cada conducto en lámina libre solamente puede estar conectado por sus extremos a un depósito o a un nudo en el que confluyen otros conductos en lámina libre. En estos conductos solamente se admite flujo subcrítico (o crítico en el extremo final de un conducto con caída libre), pudiendo ser estos conductos de sección rectangular, trapecial, circular o cualquiera.

2.3 Cálculo del régimen permanente

En un sistema hidráulico, el régimen transitorio se inicia a partir del régimen permanente cuando se produce una maniobra en alguno de los elementos del sistema. En el programa ALLIEVI, el régimen permanente se obtiene procesando el cálculo del régimen transitorio a partir de unas condiciones de funcionamiento cualesquiera, con los elementos del sistema en las posiciones iniciales y sin efectuar maniobras. Cuando en este cálculo se obtiene unas condiciones de funcionamiento que no varían con el tiempo, estas condiciones se adoptan como valores de partida para iniciar el cálculo del régimen transitorio.

NOTA: Es muy importante resaltar que para el cálculo de cualquier transitorio, ALLIEVI primero realiza el cálculo del régimen permanente y el usuario podrá ver los resultados en formato de tabla de cada uno de los elementos del proyecto.

Resultados del régimen permanente

Resultados del régimen permanente

Permite visualizar los resultados del cálculo para el régimen permanente, seleccionando el tipo de elemento

	Nombre	H(m)	Pr(m)
1	N5	97.50	53.50
2	N8	93.50	43.50
3	N7	91.84	41.84
4	N6	92.01	48.01
5	N07.1	88.77	46.77
6	N07.4	82.11	12.11
7	N07.5	77.66	7.66
8	N07.6	75.00	0.00
9	N18_fin	75.00	0.00
10	N07.3	82.49	2.49
11	N20_fin	80.00	0.00
12	N08.2	92.47	32.47
13	N08.3	92.37	32.37
14	N28_fin	90.00	2.00
15	N08.4	90.00	2.00
16	N09.2	73.00	3.00
17	N09.1	71.50	1.50
18	N09.3	65.21	5.21
19	N31_fin	65.00	3.00
20	N09.5	65.00	3.00
21	N36_fin	70.00	2.00
22	N08.7	70.00	2.00
23	N3	118.10	98.10
24	N2	24.95	4.95
25	N51_fin	25.00	5.00
26	N1	25.00	5.00


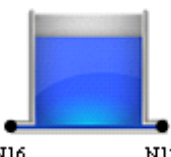
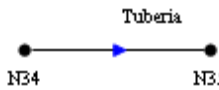
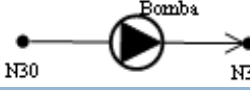
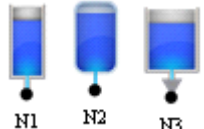
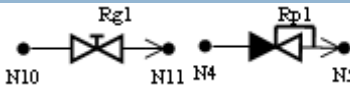

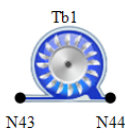
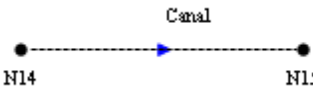
Cerrar

3. Elementos del sistema a simular en ALLIEVI

El sistema hidráulico a simular está constituido por elementos, los cuales se interconectan entre sí a través de sus nudos extremos. En general, cada elemento

dispone de dos nudos, uno inicial o de entrada y otro final o de salida, de manera que el sentido positivo del caudal en cada elemento se establece cuando circula desde el nudo inicial hasta el nudo final.

Los tipos de elementos considerados por el programa son los siguientes:

<i>Tipos de Elemento</i>	<i>Representación Gráfica en ALLIEVI</i>
1. Nudos	 Nudo
2. Depósitos	 N16 N17
3. Tuberías	 Tubería N34 N35
4. Estaciones de bombeo	 Bomba N30 N31
5. Estructuras de Protección	 N1 N2 N3
6. Estructuras de control de caudal	 Rg1 Fp1 N10 N11 N4 N5
7. Leyes de caudal (Q) o de altura (H)	 N12 N13
8. Turbinas Francis	 Tb1 N43 N44
9. Conductos en lámina libre	 Canal N14 N15

3.1 Dibujar elementos

La interfaz gráfica de ALLIEVI está pensada para que el usuario con un solo click introduzca todos los elementos necesarios para crear desde un sistema simple como una impulsión hasta sistemas tan complejos como una red mallada.


Los elementos están agrupados en cinco categorías. Por un lado se encuentran los elementos básicos en los que están las bombas, las tuberías, los nodos y los

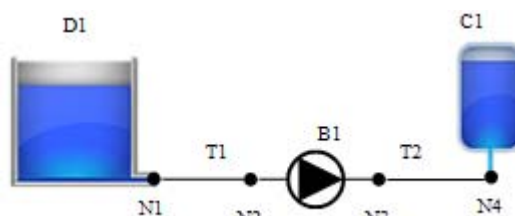
conductos en lámina libre o canales. En otro grupo están los diferentes tipos de depósitos que se pueden simular. Por otro lado está el grupo de las válvulas, el grupo de las estructuras de protección y el grupo de varios en el que están las leyes de caudal y altura, las turbinas Francis y los inyectores.

La manera de Introducir los elementos en ALLIEVI es la siguiente:

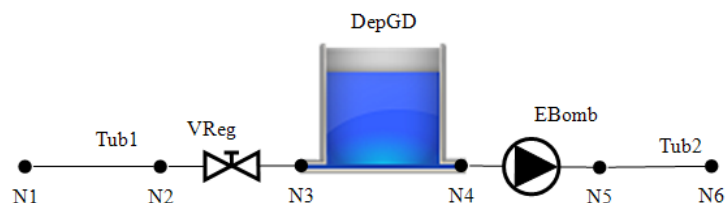
- Ir al menú *Dibujo* → *Básicos* → *Seleccionar entre Nudo, Tubería, Bomba, Canal*.
- Ir al menú *Dibujo* → *Depósito* → *Seleccionar el tipo de depósito y su ubicación*
- Ir al menú *Dibujo* → *Válvulas* → *Seleccionar el tipo de válvula que necesite de todas las posibilidades que brinda ALLIEVI (Válvula de regulación, retención, automática, perdida, entre otras).*
- Ir al menú *Dibujo* → *Protección* → *Seleccionar entre Calderín, Tanque y Chimenea*.
- Ir al menú *Dibujo* → *Varios* → *Seleccionar Ley, Turbina o Inyector*.



IMPORTANTE: Hay que tener en cuenta que ciertos elementos no pueden conectarse directamente en ALLIEVI. En el caso que se intente conectar dos elementos que son incompatibles, el cursor avisa con una señal de prohibido “” y es necesario entonces recurrir a un tramo corto de tubería que una a los dos elementos.



IMPORTANTE: Sin embargo, válvulas y estaciones de bombeo sí se pueden conectar directamente a depósitos si éstos se han definido previamente como de grandes dimensiones.

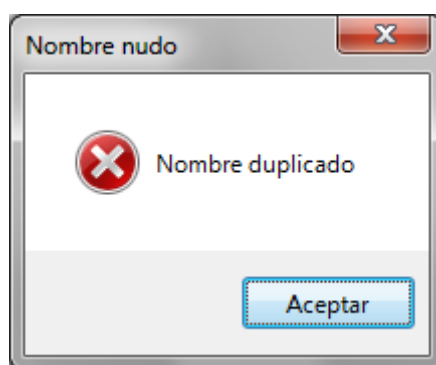


A continuación se presentan las características más importantes de cada uno de los elementos, explicando sus parámetros hidráulicos, las consideraciones necesarias e indicando la manera en que se deben ingresar sus datos.

3.2 Nudos





Una vez declarado cada nudo, ALLIEVI requerirá que el usuario le ingrese el valor correspondiente a:

- Denominación. La denominación de cada nudo es una variable alfanumérica, con la única condición de que no pueden haber dos nudos con la misma denominación. Al generar un nudo, el programa le asigna una denominación determinada, la cual puede ser modificada por el usuario en cualquier momento. Es muy importante tener en cuenta que si la denominación asignada ya se está utilizando en otro nudo, se emite un aviso de advertencia y es necesario que el usuario la modifique para poder continuar.



- Cota. Es la cota del nudo, a partir de un nivel de referencia determinado por el usuario.

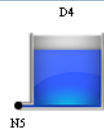
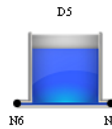
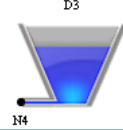
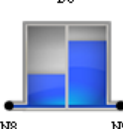
En los nudos, ALLIEVI visualizará el tipo de elemento al cual corresponde cada uno de ellos. De esta manera, se podrá corroborar los valores de las cotas que se le están ingresando al respectivo elemento.

Nudos		
	Nombre	Cota (m)
	N1	150
	N2	150
	N3	150
	N9	135

NOTA: Cuando dos nudos pertenezcan a un mismo elemento, ALLIEVI asignará automáticamente un mismo valor de cota para ambos nudos.

3.3 Depósitos

Los depósitos son elementos del sistema donde se almacena agua a presión atmosférica. Los tipos de depósitos incluidos en el programa son:

<i>Tipo de Depósitos</i>	<i>Representación en ALLIEVI</i>
<i>Depósitos de grandes dimensiones o de nivel constante (GD)</i>	
<i>Depósitos de pequeñas dimensiones o de nivel variable (PD)</i>	
<i>Depósitos de sección variable (SV)</i>	
<i>Depósitos con división y vertedero (DV)</i>	

Para facilitar la representación gráfica del sistema, se dispone de iconos de depósito con un solo nudo (derecha o izquierda) o con dos nudos. En caso de depósito con dos nudos, ambos deberán tener la misma cota. La cota de nudos de un depósito corresponde a la cota de solera del mismo.

Se indican a continuación las características de estos depósitos.

3.3.1 Depósitos de grandes dimensiones.

- *Cota inicial del agua (Z0):* Es la cota del agua utilizada para calcular el régimen permanente. Al ser un depósito de grandes dimensiones esta cota no cambiará a lo largo de toda la simulación, independientemente de los caudales de entrada y de salida que se establezcan.

Para declarar un depósito de grandes dimensiones e ingresar la *cota inicial de agua* en ALLIEVI, el procedimiento es el siguiente:

- Ir a Datos Básicos → Tipo → GD
- Ir a Datos Básicos → Z0 (m)

Depósitos - Datos básicos							
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Tipo ▲	S (m^2)	Z0 (m)	Zvar ▼
D1	---	N1	18	GD ▼		20	▼

Las unidades de la *Cota Inicial de agua*, se pueden modificar tan solo haciendo click derecho sobre el campo una vez está en modo de edición.

- Hacer Click derecho en Z0 → Cambiar unidad → Gestión de Unidades: este asistente le permite cambiar de la unidad actual a la deseada del campo que se esté trabajando.

Depósitos - Datos básicos							
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m^2)	Z0 (m)	
D1	---	N1	150	GD ▼		155	
D2	N9	---	135				

Cambiar unidad

Gestión de unidades

Gestión de unidades

Permite cambiar las unidades de la columna del grid seleccionada

Elemento

Grid de depósitos

Columna

Z0

Cota inicial agua

Tipo unidad

Distancia

Unidad actual

metro

Nueva unidad

milímetro ▼

Aceptar

Cancelar

NOTA: La manera de cambiar unidades es igual para todos los datos de entrada requeridos en el cálculo.

3.3.2 Depósitos de pequeñas dimensiones

- *Sección (S)*. Es la sección del depósito, cuyo valor es constante.
- *Cota inicial del agua (Z0)*. Es la cota del agua utilizada para calcular el régimen permanente. Al ser un depósito de pequeñas dimensiones esta cota cambiará a lo largo de la simulación, en función de la sección del depósito y de los caudales de entrada y de salida que se establezcan.

La manera de declarar un depósito de pequeñas dimensiones es la siguiente:

- Ir a Datos Básicos → Tipo → PD

Depósitos - Datos básicos						
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m ²)	Z0 (m)
D1	---	N1	150	PD	20	155

IMPORTANTE: En caso de desconocer el significado de algún campo de entrada, es posible acceder a una explicación del mismo haciendo click derecho sobre el nombre del campo que desea conocer. Con esta acción, ALLIEVI despliega una etiqueta con la información necesaria.

Depósitos - Datos básicos								
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m ²)	Z0 (m)	Zvar	L
DInCan	---	NDICan	177	PD	150	178	Me	10
DFiCan	NDFC1	NDFC2	170					
DFinal	NDFin	---	145					

Z: cota de solera

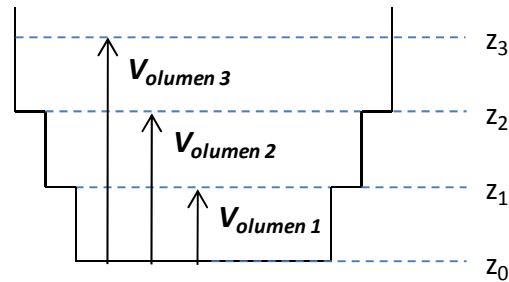
Debe ser igual a la cota en los nudos de entrada y salida

3.3.3 Depósitos de sección variable

En estos depósitos se admite que la sección varía escalonadamente, con tramos de sección constante entre las cotas inferior y superior de cada escalón. Las características de estos depósitos son las siguientes:

- *Cota inicial del agua (Z0)*: Es la cota del agua utilizada para calcular el régimen permanente. Esta cota puede cambiar a lo largo de la simulación del transitorio.
- Para cada punto *i* que define el depósito de sección variable:

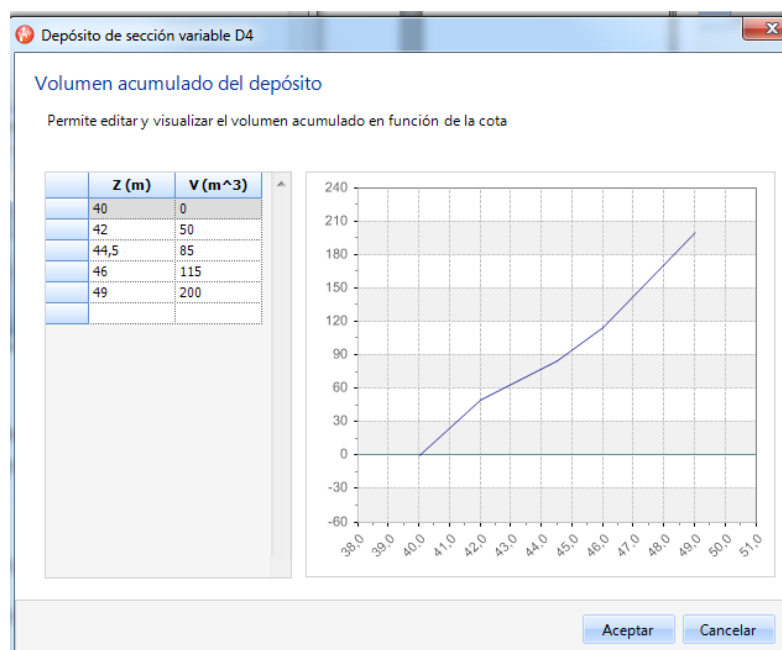
- *Cota del punto (Z)*. Es la cota a la que se encuentra el punto i , a partir del nivel de referencia establecido.
- *Volumen acumulado (V)*. Es el volumen de depósito acumulado desde la solera hasta el punto i . Para $i = 0$, el programa asigna directamente un volumen acumulado de cero.



La manera en la que se ingresan los datos del depósito de sección variable es la siguiente:

- Ir a *Datos Básicos* → *Sección del Depósito $S \text{ (m}^2\text{)}$* → Se desplegará un asistente en el que se debe ingresar la cota y el correspondiente volumen acumulado.

Depósitos - Datos básicos						
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m ²)	Z0 (m)
D1	---	N1	10	SV	(!)	20



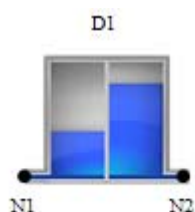
3.3.4 Depósitos con división y vertedero

Son depósitos que disponen de un vertedero rectangular transversal de pared delgada que separa la zona de entrada de la zona de salida. Sus características son:

- *Sección aguas arriba (Si).* Es la sección del depósito en la zona de entrada.
- *Sección aguas abajo (Sf).* Es la sección del depósito en la zona de salida.
- *Cota inicial del agua en la sección aguas arriba (Z Si) y en la sección aguas abajo (Z Sf) del depósito.* Es la cota del agua en las secciones de entrada y de salida del depósito, la cual se utiliza para calcular el régimen permanente. Esta cota puede ser la misma o diferente para ambas zonas del depósito y puede cambiar a lo largo de la simulación del transitorio.

La manera de asignar estos parámetros es la siguiente:

- Ir a *División y Vertedero* → *Sección Inicial (Si)*
→ *Sección Final (Sf)*
→ *Cota Inicial (Z Si)*
→ *Cota Final (Z Sf)*



División y Vertedero			
Si (m^2)	Z Si (m)	Sf (m^2)	Z Sf (m)
200	73	100	71,5

- *Longitud del vertedero (L).* Es la longitud del vertedero transversal del depósito.
- *Cota de la cresta del vertedero (Z Cresta).* Es la cota de la cresta del vertedero, a partir del nivel de referencia establecido.
- *Coeficiente de caudal del vertedero (Cq).* Es el coeficiente Cq del vertedero rectangular de pared delgada del depósito, utilizado para el cálculo del caudal descargado según la expresión.

$$Q = C_q L \frac{2}{3} \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (9)$$

siendo L la longitud del vertedero y H la altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero, antes de que ésta inicie su rápido descenso. Valores

típicos de C_q para vertederos de pared delgada varían entre 0'60 y 0'80, con valor máximo 0'85.

En caso de considerar un vertedero de pared gruesa, el coeficiente de caudal

se puede tomar como $C_q = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0'577$

La manera de ingresar estos datos es la siguiente:

- Ir a *Vertedero/Aliviadero* → *Longitud del Vertedero (L)*
→ *Cresta del vertedero (Z Cresta)*
→ *Coeficiente de Caudal del Vertedero (C_q)*

Vertedero/Aliviadero			
L (m)	Z Cresta (m)	C_q	Descarga
10	92,5	0,7	▼

3.3.5 Otras características de los depósitos

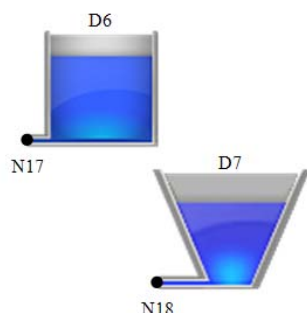
Además de los datos anteriores, existen otras características comunes a diferentes tipos de depósitos como indicamos a continuación.

3.3.5.1 Aliviadero en depósitos de pequeñas dimensiones o de sección variable

En estos depósitos puede existir un aliviadero rectangular, situado en una de sus paredes laterales, que vierta el agua al exterior cuando se alcance la cota de la cresta de dicho aliviadero. Los datos de este aliviadero son los siguientes:

- *Longitud del aliviadero (L)*: Es la longitud de dicho aliviadero. Si esta longitud es nula se entiende que el depósito correspondiente no dispone de aliviadero.
- *Cota de la cresta del aliviadero (Z Cresta)*: Es la cota de dicha cresta, a partir del nivel de referencia establecido.
- *Coeficiente de caudal del aliviadero (C_q)*: Es el coeficiente C_q del aliviadero rectangular de pared delgada o de pared gruesa, utilizado para el cálculo del caudal según la expresión (9).
- *Depósito para descarga del aliviadero (Descarga)*: El agua descargada a través del aliviadero puede verterse a cauce receptor o a uno de los depósitos de pequeñas dimensiones o de sección variable instalados en el sistema. Se

indicará con esta variable la denominación del depósito al que se vierte, o se deja en blanco para indicar que el vertido es a cauce receptor.



Nombre	Vertedero/Aliviadero			
	L (m)	Z Cresta (m)	Cq	Descarga
D6	4	115	0,577	D7 ▼
D7	10	114,5	0,577	--- ▼

En los casos en que el depósito tenga aliviadero, dicho aliviadero puede ser fijo o estar constituido por una compuerta con movimiento vertical y vertido superior. En este último caso, dicha compuerta puede realizar un único movimiento lineal de elevación o descenso durante el desarrollo del transitorio. Las características de este aliviadero móvil son las siguientes:

- *Cresta (Fija - Móvil)*. Indica la característica de cresta fija o de cresta móvil.
 - *Ir a Aliviadero móvil → Cresta (Fija/ Móvil)*

Aliviadero móvil			
Cresta	Zf (m)	Ti(s)	Tf(s)
Fija ▼			

En caso de cresta móvil, los datos requeridos son los siguientes:

- *Cota final de la cresta (Zf)*. Es la cota que alcanzará la cresta del aliviadero al final de su movimiento. La cota de la cresta al inicio del movimiento es la cota indicada anteriormente mediante Z Cresta.
- *Instante inicial del movimiento de la cresta (Ti)*. Es el instante en que se inicia el movimiento de la cresta del aliviadero.
- *Instante final del movimiento de la cresta (Tf)*. Es el instante en que finaliza el movimiento de la cresta del aliviadero.
 - *Ir a Aliviadero móvil → Cota final de la cresta (Zf)*
 → *Instante inicial del movimiento de la cresta (Ti)*
 → *Instante final del movimiento de la cresta (Tf)*

Aliviadero móvil			
Cresta	Zf (m)	Ti(s)	Tf(s)
Móvil ▼	89	15	30

3.3.5.2 Cambio del nivel del agua durante el cálculo del régimen permanente en depósitos de pequeñas dimensiones, de sección variable o con división y vertedero

En estos depósitos, a diferencia de los de grandes dimensiones, el nivel del agua cambiará durante el funcionamiento en régimen transitorio. Sin embargo, para el cálculo del régimen permanente, el nivel del agua en estos depósitos puede adoptar un valor predeterminado o cambiar hasta que se cumpla la ecuación de continuidad entre los caudales de entrada y salida del depósito.

Si, para el cálculo del régimen permanente, al nivel del agua en uno de estos depósitos se le asigna un valor predeterminado, se obtendrá un régimen permanente que en general no cumplirá la ecuación de continuidad entre los caudales de entrada y de salida.

En la mayor parte de los casos, esto se hace así porque el cálculo del régimen transitorio interesa iniciarlo a partir de determinados niveles en los depósitos del sistema.

Si, por el contrario, se permite que el nivel del agua en uno cualquiera de estos depósitos cambie durante el cálculo del régimen permanente, cuando finalice dicho cálculo el nivel alcanzado en este depósito será tal que se cumplirá la ecuación de continuidad entre los caudales de entrada y de salida del depósito.

En consecuencia, y si en todos los depósitos del sistema excepto los de grandes dimensiones se permite que el nivel del agua cambie durante el cálculo del régimen permanente, la situación a la que se llegue será tal que se mantendrá sin cambios durante el cálculo del transitorio si no se efectúan maniobras mediante los elementos activos del sistema.

Según sea el caso, la variable a introducir será:

- *Cota variable en régimen permanente (Si - No).* Para el cálculo del régimen permanente, el agua del depósito puede tener cota variable (Si) o cota fija (No), siendo en este último caso igual a la cota inicial indicada anteriormente.
 - *Ir a Datos Básicos → Cota de agua variable (Zvar) → SI / NO*

Depósitos - Datos básicos							
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m ²)	Z0 (m)	Zvar
D2	N2	---	88	PD ▼	2500	90	Si ▼
							No
							Si

3.4 Tuberías

Las características de las tuberías son las siguientes:

- *Diámetro (D_{int})*: Es el diámetro interior de la tubería.
- *Longitud (L)*: Es la longitud total de la tubería.
- *Espesor de la tubería (e)*: Es el espesor de pared de la tubería, el cual se utiliza para calcular la celeridad.

La manera de introducir estos datos al programa es la siguiente:

- Ir a *Tuberías – Datos Básicos* → *Diámetro (D_{int})*
→ *Longitud (L)*
→ *Espesor (e)*

Tuberías - Datos básicos							
Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)
T1	N1	44	N2	50	400	1200	10

- *Rugosidad absoluta (Rug)*: Las pérdidas por fricción en las tuberías se calculan por medio de la ecuación de Darcy, con el factor de fricción para régimen turbulento obtenido mediante la fórmula de Swamee y Jain (una aproximación de la ecuación de Colebrook). El usuario debe introducir la rugosidad absoluta de las paredes interiores de la tubería.

IMPORTANTE

- Si el usuario en este campo introduce la rugosidad con un valor negativo como por ejemplo (-1), el programa realiza el cálculo considerando que en dicha tubería no hay pérdidas por fricción.
- En caso que se introduzca un valor nulo como rugosidad absoluta, la tubería se considera hidrodinámicamente lisa con el factor de fricción correspondiente.

- *Coeficiente de pérdidas menores (k)*: Es el coeficiente de pérdidas menores global de la tubería, sin dimensiones. Con este coeficiente, las pérdidas menores se calculan mediante la expresión

$$h_m = k \frac{V_t^2}{2g} \quad (10)$$

siendo V_t la velocidad del agua en la tubería.

- *Ir a Tuberías – Pérdidas* → *Rugosidad absoluta (Rug)*
→ *Coeficiente de pérdidas menores (k)*

Pérdidas	
Rug (mm)	k
0,1	3,5

- *Celeridad*: Es la celeridad de la onda de presión. Este dato se asigna directamente a la tubería o se puede calcular a partir del diámetro interior, del espesor de pared y del coeficiente del material de la tubería: Si el valor asignado es cero, el transitorio en la tubería se trata como una oscilación en masa

Este asistente se encuentra justo en el campo de la celeridad de la tabla de datos de las tuberías.

- *Coeficiente k_{mt}* del material de la tubería. Es el coeficiente, dependiente del material de la tubería, que se utiliza para el cálculo de la celeridad por medio de la expresión (válida solamente para el caso del agua).

$$a = \frac{9900}{\sqrt{47'3 + k_{mt} \frac{D_t}{e_t}}} \quad (11)$$

En el programa se indican valores de k_{mt} para diferentes materiales de tubería.

La manera de introducir la celeridad de cada una de las tuberías en ALLIEVI es la siguiente:

- *Ir a Tuberías – Datos Básicos* → *Celeridad (a)* → *se ingresa manualmente el valor de la celeridad para la tubería*

Tuberías - Datos básicos					
Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)
N2	50	400	1200	10	1000

Calc.

- Ir a Tuberías – Datos Básicos → Celeridad (a) → Calcular. Se desplegará un asistente en el que solo es necesario ingresar el coeficiente del material de la tubería; en la parte derecha del asistente, el usuario dispone del valor del coeficiente para los materiales más utilizados en tuberías.

Tuberías - Datos básicos					
Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)
N2	50	400	1200	10	0

Calc.

Cálculo celeridad de la tubería T1

Cálculo de la celeridad de la tubería seleccionada

Permite asignar un valor a la celeridad o calcularlo mediante la introducción de tres parámetros

☐ Especificar celeridad

Celeridad (m/s)

☒ Calcular celeridad

Diámetro (mm)

Espesor (mm)

Coef. material

Celeridad (m/s)

Coeficientes de material de tubería

Coeficiente: $CMT = 1.0E+6 / ModElastTub(Kp/cm^2)$

Acero:..... 0.5 MET = $(2.0 - 2.12)E+6$ Kp/cm²

Fundición:..... 0.6 - 1.3 MET = $(0.80 - 1.70)E+6$ Kp/cm²

Hormigón:..... 3.3 - 7.1 MET = $(0.14 - 0.30)E+6$ Kp/cm²

H. arm. camisa chapa:.. 2.5 MET = $0.39E+6$ Kp/cm²

PVC Rígido:..... 36 - 42 MET = $(2.40 - 2.75)E+4$ Kp/cm²

Guardar Cancelar

- *Trazado de la tubería (Perfil).* Corresponde a la forma geométrica o perfil de la tubería, definida a partir del trazado de su eje. Los datos necesarios para definir el trazado de cada tubería son los siguientes:
 - *Distancia al origen.* Es la distancia a la que se encuentra el punto *i* del origen de la tubería, medida a lo largo del eje de la misma. Para el punto inicial el programa asigna directamente distancia cero, y para el punto final el programa asigna una distancia igual a la longitud de la tubería.

- *Cota.* Es la cota del punto *i* situado sobre el eje de la tubería. Para ambos extremos de la tubería el programa asigna la cota del correspondiente nudo.

El perfil de la tubería se ingresa de la siguiente manera:

- Ir a *Tuberías – Datos Básicos → Perfil → Configuración de la Tubería*. Se despliega un asistente, en el que se deben ingresar la distancia desde el origen a la que se encuentra cada una de las cotas.

Las columnas de distancia y cota, excepto los valores extremos que están ya asignados, se pueden copiar y pegar desde hojas Excel.

Configuración de la tubería T2

Configuración de la tubería

Permite establecer el perfil de la tubería entre los puntos de cota inicial y final. Puede introducir las ventosas y seleccionar una rotura

	Dist. (m)	Cota (m)
1	0	44
2	20	45
3	40	55
4	80	60
5	120	80
6	240	60
7	350	55
8	450	60
9	500	65
10	650	40
11	700	35
12	750	42
13	850	48
14	900	50
15	1150	45
16		
17	1200	50

Perfil

Gráfico de líneas que muestra el perfil de la tubería con la distancia en el eje horizontal (0 a 1200 m) y la cota en el eje vertical (25 a 85 m). La línea azul representa el perfil de la tubería.

Ventosas

	Tipo ventosa	Dist. (m)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Rotura

☒ Tubería sin rotura

☐ Tubería con rotura

Distancia al origen (m): 0,00

Instante de la rotura (s): 0,00

Duración de la rotura (s): 0,00

$K_v \text{ Final (m}^3/\text{h)/((Kp/cm}^2)^{1/2})$: 0,00

Guarda Cancela

3.4.1 Ventosas en la tubería

Las ventosas se instalan para evitar presiones negativas en una tubería, admitiendo aire al interior de la misma cuando la presión en su punto de ubicación tiende a ser menor que la atmosférica, y expulsando este aire cuando la presión alcanza valores superiores a la atmosférica. Sin embargo, y debido que la entrada de aire a una conducción puede en algunos casos crear más problemas que soluciones, la utilización de las ventosas como sistema de protección frente a transitorios hidráulicos se hará solamente cuando no exista otro modo de evitar las presiones negativas.

ALLIEVI cuenta internamente con una base de datos de características de ventosas, así como permite que el usuario introduzca la curva característica de la ventosa que desea utilizar.

La manera de ingresar las ventosas es la siguiente:

- Ir a Tuberías – Datos Básicos → Perfil → Configuración de la Tubería → Ventosas. Se especifica la distancia en metros desde el origen de la tubería y desplegando el botón de tipo de ventosas, se puede seleccionar entre las ventosa de la base de datos (ampliada o no con nuevas ventosas introducidas por el usuario). Para eliminar una ventosa dispuesta sobre una tubería se elimina el valor de la distancia a la que se encuentra.

Para la simulación, cada ventosa se desplaza al punto de cálculo más cercano a su ubicación. No se permite que a un mismo punto de cálculo se desplace más de una ventosa.

Configuración de la tubería T2

Configuración de la tubería
Permite establecer el perfil de la tubería entre los puntos de cota inicial y final. Puede introducir las ventosas y seleccionar una rotura

	Dist. (m)	Cota (m)
1	0	44
2	200	60
3	400	50
4	600	92
5	800	78
6	1000	72
7	1100	65
8		
9	1200	50

Perfil

Ventosas

	Tipo ventosa	Dist. (m)
1	Ventosa DN 50	200
2	Aduc. DN 80 + Vent. DN 15	400
3	Aduc. DN 80 + Vent. DN 40	600
4	Aduc. DN 80 + Vent. DN 25	800
5	Aduc. DN 100 + Vent. DN 15	1000
6		1100
7	Ventosa personal 1	
8	Ventosa personal 2	
	Ventosa DN 20	
	Ventosa DN 25	
	Ventosa DN 50	
	Aduc. DN 80 + Vent. DN 15	

Rotura

☒ Tubería sin rotura

☐ Tubería con rotura

Distancia al origen (m)

Instante de la rotura (s)

Duración de la rotura (s)

Kv Final (m³/h)/((Kp/cm²)^{1/2})

Guardar **Cancelar**

IMPORTANTE: Es muy importante tener en cuenta que para efectos del cálculo, si la tubería conecta con un elemento en uno de sus extremos, las ventosas que se instalen deben ubicarse a una distancia mínima de ese extremo que equivaldría a:

$$\text{Distancia Mínima} > 0.5(\Delta x) = 0.5 * (a * \Delta t)$$

Δt : Intervalo de tiempo

a: Celeridad de la tubería

En el caso de tuberías cuyo extremo conecta con otras tuberías, solo se puede instalar una ventosa junto al nudo de conexión pero asociada al extremo de una de las tuberías. Para las ventosas instaladas en las otras tuberías se debe dejar la siguiente distancia mínima al nudo:

$$\text{Distancia Mínima} > 0.5(\Delta x) = 0.5 * (a * \Delta t)$$

Para que entre dos ventosas consecutivas exista al menos un punto de cálculo, la distancia mínima entre dos ventosas de una misma tubería deberá ser:

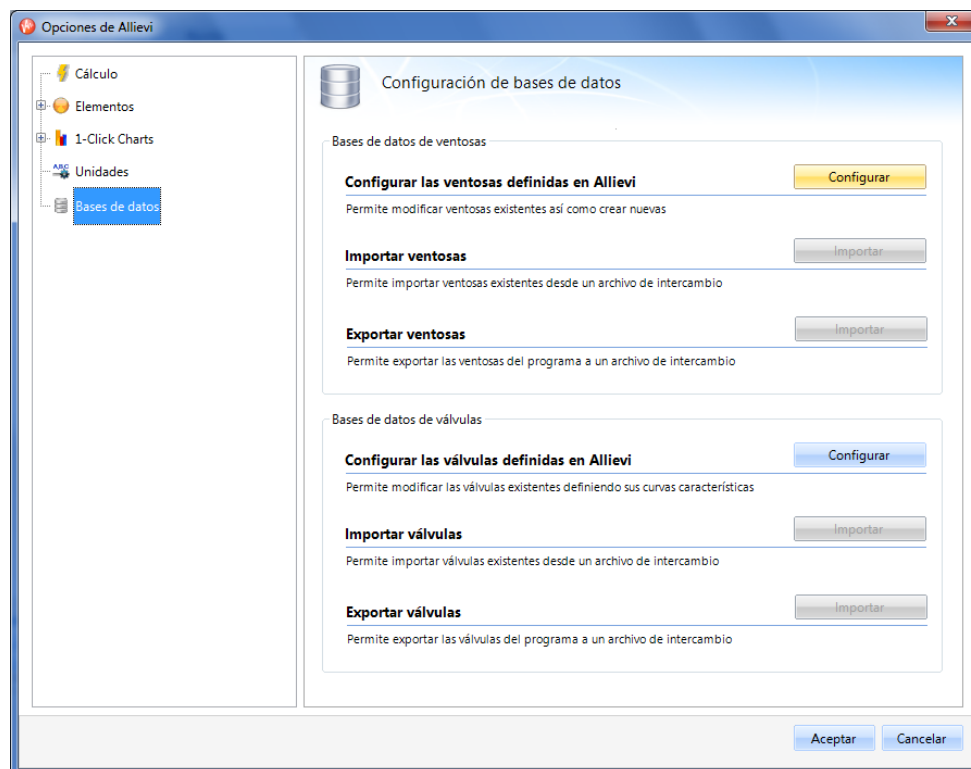
$$\text{Distancia Mínima} \geq 2(\Delta x) = 2 * (a * \Delta t)$$

3.4.1.1 Configuración de las Ventosas

Las ventosas en Allievi son configurables, es decir, el usuario puede acceder tanto a las curvas de admisión como a las de expulsión de aire de las ventosas definidas y configuradas por defecto en el programa.

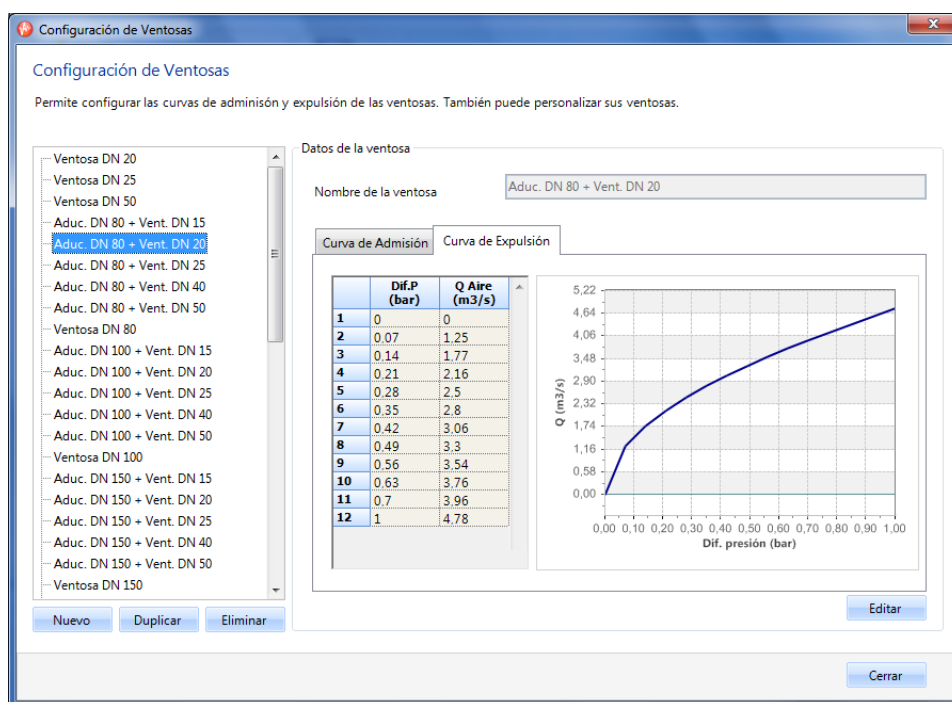
La manera de acceder a estas curvas es la siguiente:

- Ir a menú configuración → Opciones → Bases de datos → Configurar las ventosas definidas en Allievi



En este asistente se desplegarán todas las ventosas definidas. Simplemente haciendo click en el nombre de la ventosa, se accede a los valores de caudal frente a diferencia de presión que definen sus curva de admisión y expulsión de aire.

Para crear o modificar alguna de las curvas, se cuenta con dos opciones. Por un lado, el botón **Nuevo** permite ingresar los valores de una nueva ventosa, mientras que el botón **Duplicar** permite duplicar y posteriormente modificar los valores de alguna de las ventosas ya definidas.



3.4.2 Rotura de tubería

ALLIEVI permite simular el efecto de la rotura de una tubería en el sistema. Para ello, en el asistente para introducir el perfil de la conducción que va a sufrir la rotura, y seleccionando la opción "Tubería con rotura", se introducirán los siguientes datos:

- *Distancia al origen.* Es la distancia desde el origen de la tubería hasta el punto donde se va a producir la rotura.
- *Instante de la rotura.* Es el instante en que se inicia la rotura.
- *Duración de la rotura.* Es el tiempo durante el cual se está produciendo la rotura.
- *Kv final.* Es el coeficiente Kv final de la rotura, el cual relaciona el caudal descargado por la rotura Q_{rot} con la presión interior de la tubería en el punto de la rotura P_{tub} , según la expresión:

$$Q_{rot} (m^3/h) = Kv \sqrt{P_{tub} (bar)} \quad (12)$$

El Kv final de la rotura se podría asimilar al de una válvula abierta cuya sección de paso fuese la de la rotura.

La manera de introducir la rotura es la siguiente:

- Ir a Tuberías – Datos Básicos → Perfil → Configuración de la Tubería → seleccionar tubería con rotura.

Configuración de la tubería

Permite establecer el perfil de la tubería entre los puntos de cota inicial y final. Puede introducir las ventosas y seleccionar una rotura

	Dist. (m)	Cota (m)
1	0	41
2	1300	54
3	2700	57
4		
5	4000	58

Perfil

Gráfico de Cota (m) vs Distancia (m). La línea azul representa el perfil de la tubería, mostrando un ascenso gradual desde 41 m hasta 58 m.

Ventosas

	Tipo ventosa	Dist. (m)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Rotura

☐ Tubería sin rotura

☒ Tubería con rotura

Distancia al origen (m): 400,00

Instante de la rotura (s): 10,00

Duración de la rotura (s): 10,00

Kv Final(m³/h)/(Kp/cm²)^{1/2}: 1.000,00

Guardar Cancelar

IMPORTANTE: Para la simulación, la rotura se desplaza al punto de cálculo más cercano a su ubicación. Sin embargo, no se permite que la rotura se desplace a uno de los extremos de la tubería, donde se habrá conectado algún elemento del sistema. Por ello, la distancia mínima entre la rotura y uno cualquiera de los extremos de la tubería deberá cumplir

$$\text{Distancia Mínima} > 0.5(\Delta x) = 0.5 * (a * \Delta t)$$

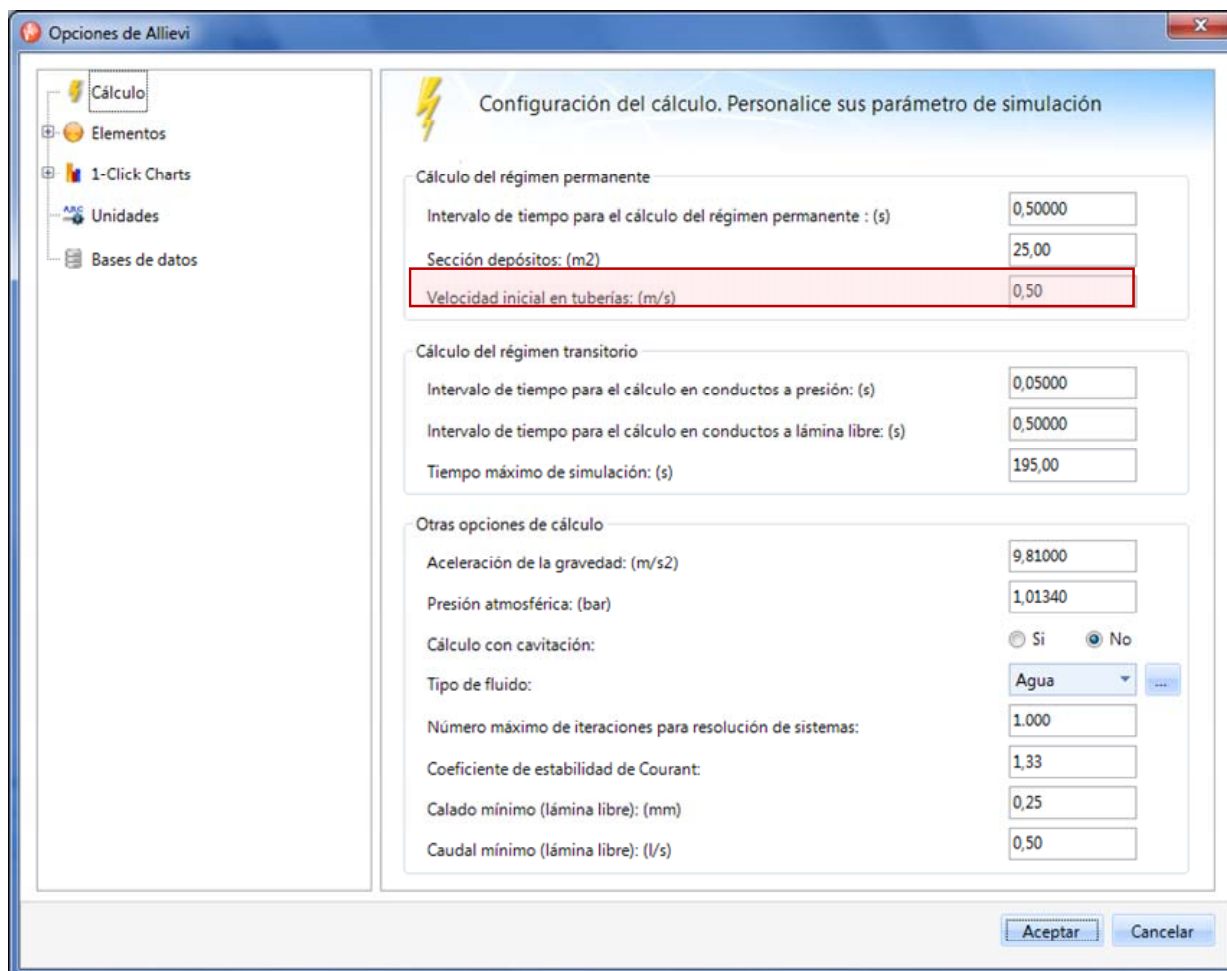
Δt : Intervalo de tiempo

a : Celeridad de la tubería

Si en un mismo punto de cálculo coinciden una ventosa y una rotura, dicha ventosa se ignora y no interviene en la simulación.

3.4.3 Tuberías con caudal inicial nulo

Para calcular el régimen permanente, el caudal circulante por las tuberías para iniciar los cálculos se obtiene asignando una velocidad supuesta del orden de 0'5 m/s (o un valor diferente introducido por el usuario). Durante el cálculo del régimen permanente esta velocidad irá cambiando en cada iteración, y para cada tubería, hasta alcanzar el valor de régimen permanente.



En caso de que el caudal de régimen permanente de una o varias tuberías sea cero (por el hecho de que existan bombas paradas y/o válvulas cerradas), las condiciones de régimen permanente se obtienen mediante un gran número de iteraciones, lo cual puede consumir un tiempo de cálculo importante. En estos casos, para el cálculo del régimen permanente se puede asignar directamente caudal nulo a aquellas tuberías para las cuales se conozca a priori que éste va a ser su caudal de régimen. Para cada tubería los datos necesarios son:

- *Q inicial nulo (Si – No)*. Indica si se va a imponer, o no, caudal inicial nulo.
- *Extremo para imponer H (Inicial – Final)*. En caso de imponer caudal inicial nulo, se indica si la altura piezométrica de la tubería en condiciones de régimen permanente va a ser la de su extremo inicial o la de su extremo final.

IMPORTANTE: Hay que tener mucho cuidado con estos datos, pues cuando se indica caudal nulo por una tubería el programa calcula el régimen permanente asignando este caudal a dicha tubería, así como altura piezométrica la del extremo indicado. El régimen permanente obtenido será erróneo si en realidad no se van a dar estas circunstancias. En caso de duda es mejor no asignar este tipo de datos.

El proceso para ingresar estos datos es la siguiente:

- Ir a Tuberías – Caudal Nulo $\rightarrow Q_{in} = 0$
- Ir a Tuberías – Caudal Nulo $\rightarrow H_{Imp} \rightarrow$ Inicial / Final

Caudal nulo	
$Q_{in}=0$	H Imp
<input checked="" type="checkbox"/>	Final
<input type="checkbox"/>	Inicial
	Final

3.5 Estaciones de bombeo

Las características generales de las estaciones de bombeo son las siguientes:

- *Número de bombas en paralelo.* Es el número de grupos en paralelo, todos iguales, de que consta la estación de bombeo. Estos grupos tendrán exactamente el mismo comportamiento durante el transitorio y dispondrán, a su vez, de las mismas válvulas de regulación y retención que efectuarán las mismas maniobras.

- Ir a Estación de bombeo (Tabla de datos) – Datos generales \rightarrow Num.

Estación de bombeo - Datos generales							Instalación		
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva	V Reg	V Ret	By-Pass
+	B3	N5	N6			Por Puntos ▾	No ▾	No ▾	No ▾

Num - Número de bombas

Número de bombas idénticas instaladas en paralelo en la estación

- *Forma de las curvas características de las bombas.* Se indica la forma en que se van a presentar las curvas características de las bombas, $H_b = H_b(Q_b)$ y $P_{acc} = P_{acc}(Q_b)$, las cuales pueden ser Universales o Ajustadas (por puntos).

- Ir a Estación de bombeo – Datos generales \rightarrow Curva \rightarrow Por Puntos / Universales

Estación de bombeo - Datos generales						
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva
+	B1	N2	N3	20	2	Universale
						Por Puntos
						Universales

- *Tipo de válvula de grupo.* Indica si existe o no válvula de retención y de regulación a la salida de cada grupo, así como by-pass entre entrada y salida de la estación de bombeo.

- *Ir a Instalación* → *V Regulación* → SI / NO
→ *V Retención* → SI / NO
→ *By-Pass* → SI / NO

Instalación		
V Reg	V Ret	By-Pass
Si	Si	Si
		No
		Si

- *Inercia de cada grupo.* Es el momento de inercia de las masas rodantes de cada grupo, e incluye el rodete, el eje y el rotor del motor de accionamiento. En caso de no disponer de este dato, el programa proporciona una estimación del momento de inercia del grupo utilizando la fórmula de Thorley,

$$I = 0'03768 \left(\frac{P}{N^3} \right)^{0'9556} + 0'0043 \left(\frac{P}{N} \right)^{1'48} \quad (13)$$

donde I es el momento de inercia del grupo en $\text{Kg}\cdot\text{m}^2$, P la potencia nominal de la bomba en Kw, y N la velocidad de rotación nominal en miles de rpm. En la expresión (13), el primer término del segundo miembro representa el momento de inercia de rodete y eje, y el segundo término del segundo miembro el momento de inercia del rotor del motor eléctrico de accionamiento.

Por otra parte, si se dispone del PD^2 del grupo, su relación con el momento de inercia es:

$$I(\text{Kg}\cdot\text{m}^2) = \frac{PD^2(N_w\cdot\text{m}^2)}{4g} ; \quad I(\text{Kg}\cdot\text{m}^2) = \frac{PD^2(Kp\cdot\text{m}^2)}{4} \quad (14)$$

Como se mencionó anteriormente, existen dos posibilidades de ingresar el momento de inercia. La manera directa es anotarlo en la casilla correspondiente:

- Rotación $\rightarrow I \text{ (Kg.m}^2\text{)}$

Rotación			
Nreg	Nnom	I	
1450	1450	10,4	Calc.

En caso de no contar con el dato ALLIEVI da la opción de calcularlo, con los datos del punto óptimo de funcionamiento de la bomba, mediante el asistente que se encuentra de la siguiente manera:

- Rotación $\rightarrow I \text{ (Kg.m}^2\text{)} \rightarrow \text{Calc.} \rightarrow \text{Calcular potencia e Inercia}$

Cálculo de la potencia e inercia de las bombas en la estación de bombeo B1

Cálculo de la potencia e inercia de las bombas en la estación de bombeo seleccionada

Permite asignar valor a la potencia y a la inercia o calcularlo mediante la introducción de parámetros

☐ Especificar potencia e inercia

Inercia (Kg*m2)

☒ Calcular potencia e inercia

Caudal (l/s)

Altura (m)

Rendimiento (%)

Velocidad rotación (rpm)

Inercia (Kg*m2) Potencia (Kw)

- *Velocidad de rotación de régimen.* Es la velocidad de rotación de los grupos cuando funcionan en condiciones de régimen permanente.

- Ir a Rotación $\rightarrow N_{reg} \text{ (rpm)}$.

Rotación		
Nreg	Nnom	I
1450	1450	10.4

N Régimen (rpm)
Velocidad de rotación de régimen

- *Velocidad de rotación nominal.* Es la velocidad de rotación de las bombas a la que corresponde las curvas características utilizadas.

- Ir a Rotación → Nnom (rpm).

Rotación			
Nreg	Nnom	I	Inicial
1450	1450	10.4	En Marc

N Nominal (rpm)
Velocidad de rotación nominal

- *Funcionamiento inicial de bombas.* En condiciones iniciales los grupos pueden estar en marcha (a velocidad de rotación de régimen), o parados.

- Ir a Parada/Arranque → Inicial → En Marcha / Paradas

Parada/Arranque						
Inicial	Inst. par.	Nuevo arr	Inst. arr.	Duración	Nueva par	Inst. par.
En Marc	25	No				

Inicial
Estado inicial de las bombas

3.5.1 Bombas con curvas características universales

En este caso las curvas características de las bombas se obtienen de las curvas universales de Marchal, Flesch y Suter para un total de 14 valores de la velocidad específica. Estas curvas permiten caracterizar el comportamiento de las bombas en cualesquiera condiciones de funcionamiento, esto es, para valores positivos, negativos o nulos de caudal, altura y velocidad de rotación.

Los datos necesarios para caracterizar la bomba corresponden al punto óptimo de funcionamiento (o punto de rendimiento máximo) a la velocidad de rotación nominal, esto es:

- *Caudal Q_{b0}* . Es el caudal impulsado por la bomba en el punto óptimo de funcionamiento.
- *Altura H_{b0}* . Es la altura creada por la bomba en el punto óptimo de funcionamiento.
- *Potencia de accionamiento P_{acc0}* . Es la potencia de accionamiento de la bomba en el punto óptimo de funcionamiento.

Una vez entrados estos tres valores, el programa muestra para su verificación el rendimiento de la bomba en el punto óptimo de funcionamiento.

- *Desplegando la tabla de Datos Generales (☰)→ Rendimiento Óptimo→ Q (l/s)*
 → Rendimiento Óptimo → H (m)
 → Rendimiento Óptimo → P (Kw)

Estación de bombeo - Datos generales						
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva
☰	B1	N2	N3	20	2	Universale ▾
	Rendimiento optimo					✚
		Q (l/s)	H (m)	P (Kw)	Rend %	
		150	110	200	80,93	

3.5.2 Bombas con curvas características por puntos

Las curvas características ajustadas se darán por puntos, para la velocidad de rotación nominal, a partir de la información de catálogo proporcionada por el fabricante de las bombas. Con esta información el programa no puede caracterizar el comportamiento de las bombas para valores negativos de caudal, altura o velocidad de rotación. Por ello, esta forma de proporcionar las curvas características solamente es útil en los casos en que el funcionamiento de las bombas quede limitado al primer cuadrante, con velocidad de rotación positiva.

Para este caso, los datos necesarios para obtener las curvas características ajustadas son:

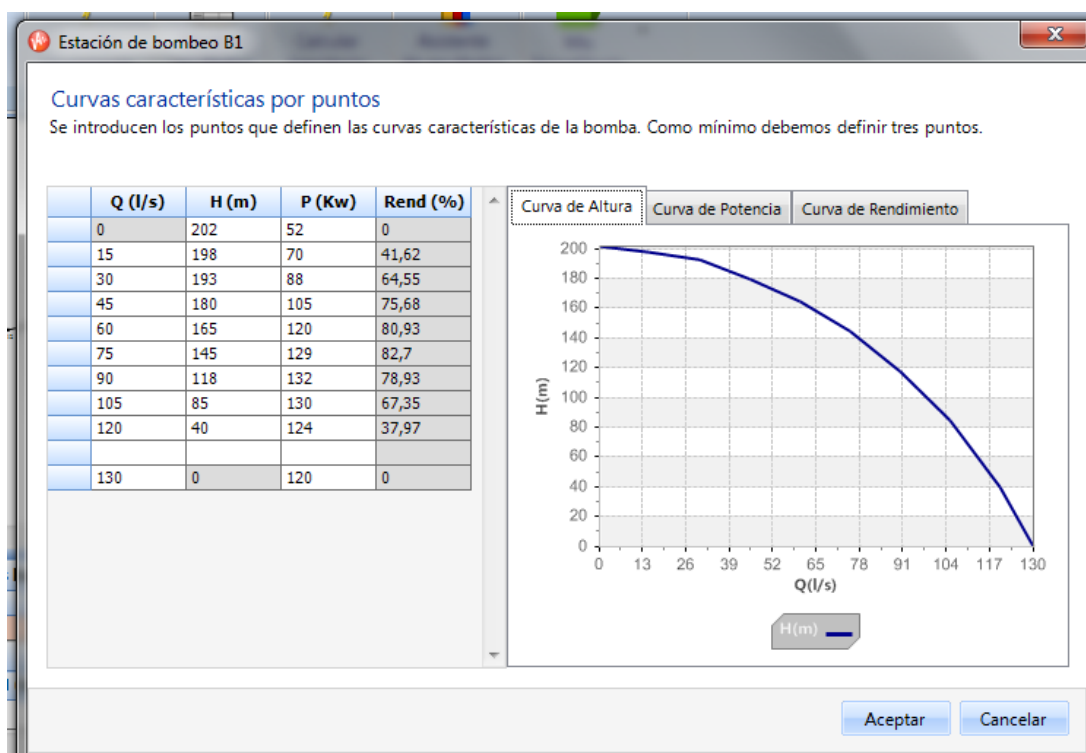
- *Caudal Q_{bi}* . Caudal impulsado por la bomba en el punto de funcionamiento i .
- *Altura H_{bi}* . Altura creada por la bomba en el punto de funcionamiento i .
- *Potencia de accionamiento P_{acci}* . Potencia de accionamiento de la bomba en el punto de funcionamiento i .

Una vez entrados estos tres valores para cada punto de funcionamiento i , el programa muestra el rendimiento de la bomba para su verificación.

IMPORTANTE: Los puntos de funcionamiento de la bomba que definen las curvas ajustadas o por puntos deben cubrir todo el primer cuadrante, desde $Q_b = 0$ hasta $H_b = 0$, con potencias de accionamiento que en ningún caso pueden ser nulas o negativas. Por ello el usuario deberá proporcionar suficientes puntos para definir adecuadamente este intervalo de funcionamiento, aún extrapolando por su cuenta la información que el fabricante proporcione en su catálogo. Ello es así porque a lo largo de la simulación la bomba podría llegar a funcionar en cualquier punto de su curva característica dentro del primer cuadrante, por lo que el programa deberá tener suficiente información respecto de las características de la bomba.

Para ingresar los datos que definen las curvas características de la bomba, ALLIEVI cuenta con un asistente cuya ruta es la siguiente:


- Desplegando la tabla de Datos Generales (+) → Curvas por puntos → Tabla

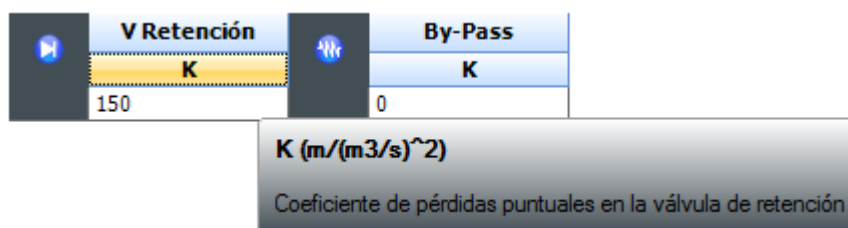


3.5.3 Válvulas de grupo: Válvula de retención

Los grupos de bombeo con curvas ajustadas han de disponer, en todos los casos, de válvula de retención. Los grupos con curvas universales pueden disponer o no de esta válvula.

Los datos necesarios son:


- *Coeficiente de pérdidas K_{VRt} de la válvula de retención.* Es el coeficiente de pérdidas de la válvula de retención abierta, con unidades de $\text{m}/(\text{m}^3/\text{s})^2$, para el cálculo de las pérdidas en función del caudal impulsado por la bomba. En este coeficiente de pérdidas se deberán incluir, además, las pérdidas en el resto de accesorios del interior de la estación de bombeo atravesados por el caudal circulante por la bomba, excepto las de la válvula de regulación si existe.
- Desplegando la tabla de Datos Generales () → V retención → K



3.5.4 Válvulas de grupo: Válvula de regulación

La válvula de regulación se encuentra instalada a la salida de cada grupo, generalmente después de la válvula de retención si existe. Su misión es regular el caudal impulsado por el grupo cerrándola parcialmente, o aislar el grupo respecto del colector de impulsión si se cierra totalmente.

Las características de estas válvulas son:


- *Diámetro nominal.* Es el diámetro nominal de la válvula de regulación.
- *Tipo de válvula de regulación.* Es el tipo de válvula de regulación a instalar, eligiéndose uno de los siguientes tipos:
 - Desplegando la tabla de Datos () → V Regulación → D (mm)
 - V Regulación → Tipo: Mariposa
 - V Regulación → Tipo: Esférica
 - V Regulación → Tipo: Compuerta
 - V Regulación → Tipo: Globo
 - V Regulación → Tipo: Diafragma

V Regulación → Tipo: Comercial

V Regulación			
D (mm)	Tipo	Modelo	Maniobra
400	Mariposa		
	Mariposa		
	Esférica		
	De compuerta		
	De globo		
	De diafragma		
	Comercial		

Para cada uno de estos tipos, excepto el caso de válvula comercial, el programa dispone de una curva característica típica que proporciona el coeficiente de pérdidas adimensional en función del grado de apertura de la válvula.

Para el caso de válvula comercial, la curva característica de la válvula se obtendrá de la base de datos de válvulas confeccionada a partir de información de catálogo, y que podrá cargarse mediante el programa. En este caso se introduce:

- *Válvula comercial a instalar (Modelo)*. Es la denominación de la válvula comercial a instalar, tomada de la base de datos de válvulas comerciales disponible.
- Desplegando la tabla de Datos Generales () → V Regulación → Modelo

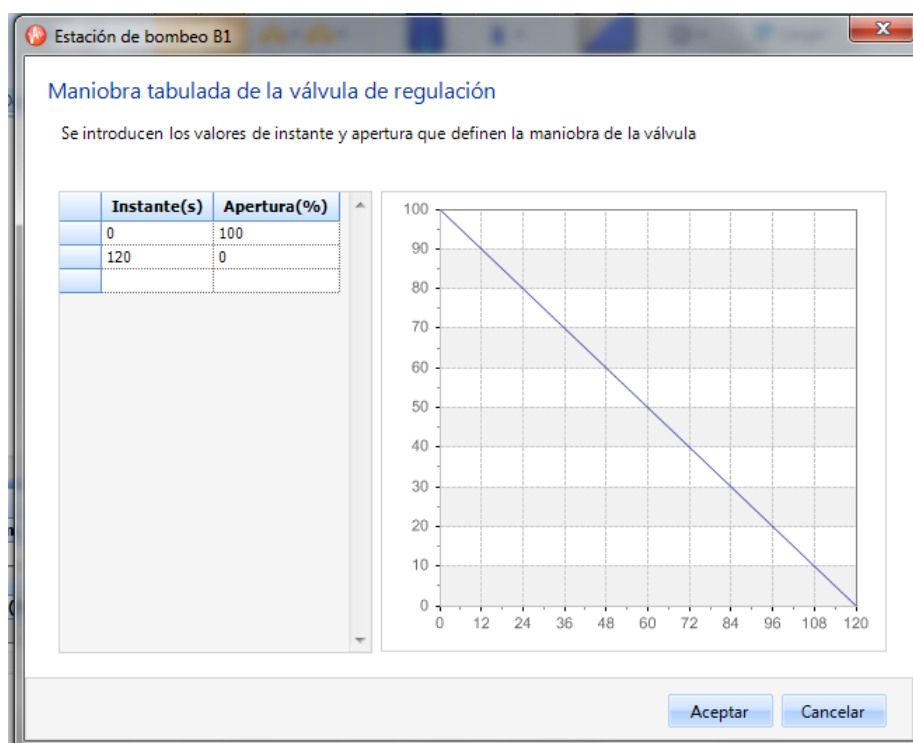
V Regulación			
DN (mm)	Tipo	Modelo	Maniobra
400	Comercial	PASO ANULAR CA 400	...
			(!)

Las válvulas de regulación instaladas en los grupos de las estaciones de bombeo podrán efectuar maniobras de cierre y/o apertura durante la simulación del transitorio. Para definir estas maniobras de forma tabulada se darán los siguientes datos:

- *Instante t_i* . Es el instante de tiempo correspondiente al punto i .
- *Grado de apertura A_{ri}* . Es la apertura relativa de la válvula, en % respecto de la apertura máxima, en el instante t_i .


Para ingresar la maniobra de la válvula, el procedimiento es el siguiente:

- Desplegando la tabla de Datos Generales () → V Regulación → Maniobra



3.5.5 Válvulas de grupo: By-pass en la estación de bombeo

Este by-pass, si existe, se instala entre los colectores de entrada y salida de la estación de bombeo, en paralelo con los grupos de impulsión. El by-pass dispondrá de una válvula de retención con los siguientes datos:

- *Coeficiente de pérdidas K_{VRbp} de la válvula de retención.* Es el coeficiente de pérdidas de la válvula de retención abierta, con unidades de $m/(m^3/s)^2$, para el cálculo de las pérdidas en función del caudal circulante por el by-pass. En este coeficiente de pérdidas se deben incluir, además, las pérdidas del resto de accesorios que constituyen el by-pass (incluso las pérdidas por fricción en la tubería correspondiente).
- *Desplegando la tabla de Datos Generales () → By-Pass → K*

V Retención	By-Pass
K	K
150	325

K ($m/(m^3/s)^2$)

Coeficiente de pérdidas puntuales en el flujo a través del by-pass

3.5.6 Estaciones de bombeo con grupos inicialmente en marcha

Las estaciones de bombeo que se encuentran inicialmente en marcha pueden parar en un momento determinado y, posteriormente, volver a arrancar. En estos casos tenemos:

- *Instante de parada (Inst. par.).* Es el instante en que se desconectan simultáneamente todos los grupos de la estación de bombeo.
 - *¿Se vuelve a arrancar? (Si – No).* Indica si los grupos se van a volver a arrancar, o no, después de la parada.
 - *Instante de arranque.* En caso de volver a arrancar, instante en el que se produce el arranque simultáneo de los grupos (instante posterior al de parada).
 - *Tiempo de arranque.* En caso de volver a arrancar, duración del arranque con una evolución lineal de la velocidad de rotación de los grupos desde la parada hasta la velocidad de rotación de régimen.
- *Ir a Parada/Arranque → Inicial → En Marcha*
 - *Inst Parada.*
 - *Nuevo arranque → Si / No*
 - *Inst. Arranque*
 - *Duración*

Parada/Arranque						
Inicial	Inst. par.	Nuevo ar ▲	Inst. arr.	Duración	Nueva par ▼	Inst. par.
En Marc ▼	25	Si ▼	400	4	▼	
En Marcha						
Paradas						

3.5.7 Estaciones de bombeo con grupos inicialmente parados

Las estaciones de bombeo que se encuentran inicialmente paradas pueden ponerse en marcha en un momento determinado y, posteriormente, volver a parar. En estos casos tenemos:

- *Instante de arranque.* Es el instante en que arrancan simultáneamente todos los grupos de la estación de bombeo.
 - *Tiempo de arranque.* Duración del arranque, con una evolución lineal de la velocidad de rotación de los grupos desde la parada hasta la velocidad de rotación de régimen.
 - *¿Se vuelve a parar? (Si – No).* Indica si los grupos se van a volver a parar, o no, después del arranque.
 - *Instante de parada.* En caso de volver a parar, instante en el que se produce la parada simultánea de los grupos (instante posterior al de arranque).
- *Ir a Parada/Arranque → Inicial → Paradas*
 - *Inst. Arranque*

→ Duración

→ Nueva Parada. → Si / No

→ Inst. Parada.

Parada/Arranque						
Inicial	Inst. par.	Nuevo arr	Inst. arr.	Duración	Nueva par	Inst. par.
Paradas			30	4	Si	120
En marcha						
Paradas						

3.6 Estructuras de control de caudal

Las estructuras de control de caudal están constituidas básicamente por válvulas u otros componentes que intervienen en el caudal que circula por las conducciones. Los elementos que se consideran estructuras de control de caudal son los siguientes:

<i>Tipos de Elemento</i>	<i>Representación Gráfica en ALLIEVI</i>
1. Válvulas de regulación	
2. Válvulas de retención	
3. Válvulas de alivio	
4. Válvulas de sobrevelocidad	
5. Inyectores	
6. Pérdidas de carga localizadas	
7. Válvulas compuestas	
8. Válvulas automáticas	

Las características de todos estos elementos son las siguientes:

3.6.1 Válvulas de regulación

Son válvulas cuyo accionamiento permite modificar el caudal circulante por la instalación. En caso de utilizarse como todo o nada, en condiciones habituales están abiertas pero pueden cerrar para aislar una parte del sistema. Sus características son:

- *Cota (Z)*. Es la cota a la que se sitúa la válvula, la misma que sus nudos extremos.
- *Diámetro nominal (DN)*. Es el diámetro nominal de la válvula.
- *Coeficiente de pérdidas (k) del ramal*. Es el coeficiente de pérdidas adimensional del ramal donde está conectada la válvula.

Estos datos se ingresan de la siguiente manera:

- Ir a *Válvula de regulación – Datos básicos* → *Cota (Z)*
- Ir a *Válvula de regulación – Datos básicos* → *Diámetro nominal (DN)*
- Ir a *Válvula de regulación – Datos básicos* → *Coeficiente de Pérdidas (k)*

Válvula Regulación - Datos básicos					
Ni	Nf	Z (m)	DN (mm)	k Ramal	Tipo
N1	N2	10	250	5	Mariposa ▼

- *Tipo de válvula*. Es el tipo de válvula a instalar, eligiéndose uno de los siguientes tipos:

-  Mariposa
-  Esférica
-  Compuerta
-  Globo
-  Diafragma
-  Comercial

Para definir el tipo de válvula se debe:

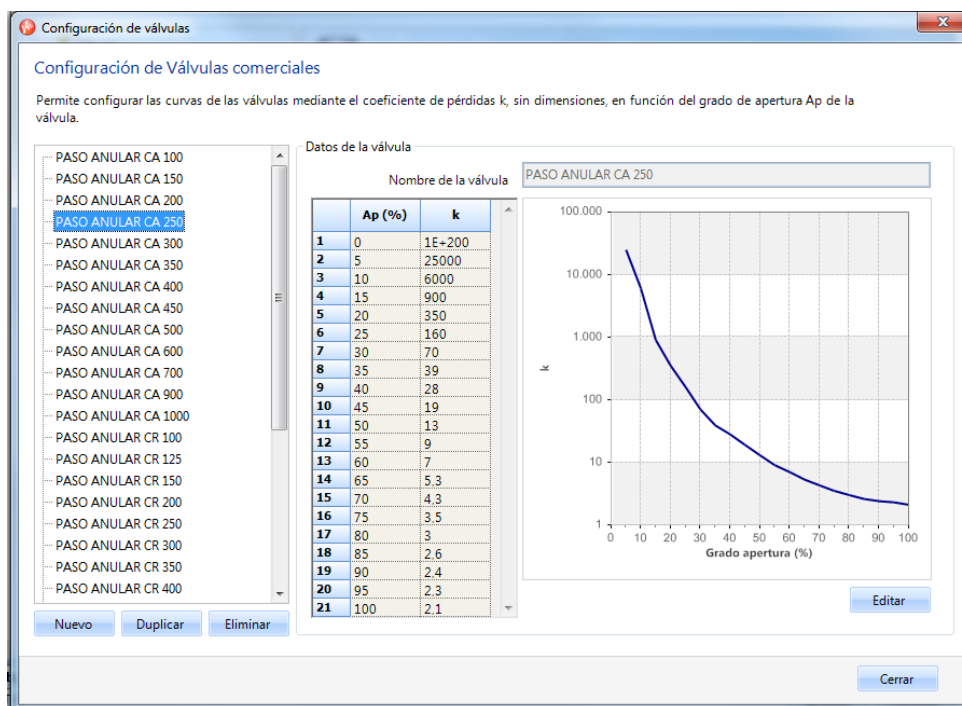
- Ir a *Válvula de regulación – Datos básicos* → *Tipo* → Mariposa
→ Esférica
→ Compuerta
→ Globo
→ Diafragma
→ Comercial

Válvula Regulación - Datos básicos						
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	DN (mm)	k Ramal	Tipo
Rg1	N1	N2	10	250	5	Mariposa

Mariposa
 Esférica
 De compuerta
 De globo
 De diafragma
 Comercial

Para cada uno de estos tipos, excepto el caso de válvula comercial, el programa dispone de una curva característica típica que proporciona el coeficiente de pérdidas adimensional en función del grado de apertura de la válvula.

Para el caso de válvula comercial, la curva característica de la válvula se obtendrá de la base de datos de válvulas confeccionada a partir de información de catálogo. Para estas válvulas se deberá disponer del coeficiente de pérdidas adimensional en función del grado de apertura, entre el 0 % y el 100 % a intervalos del 5 % de grado de apertura.



Al introducir una válvula comercial, el usuario debe decidir qué tipo de válvula desea introducir. La manera de hacerlo es la siguiente:

- Ir a *Válvula de regulación – Datos básicos* → *Tipo* → *Comercial* → *Modelo*: Se despliega una tabla con todas las válvulas comerciales disponibles.

Válvula Regulación - Datos básicos				
Z (m)	DN (mm)	k Ramal	Tipo	Modelo
10	250	5	Comercial ▼	PASO ANULAR CA 250 <input data-bbox="1230 461 1300 497" type="button" value="..."/>

Las válvulas de regulación podrán efectuar maniobras de cierre y/o apertura durante la simulación del transitorio. Estas maniobras se pueden definir como:

- ❖ Tabuladas
- ❖ Sinusoidales

En cualquiera de estas maniobras, la apertura relativa de la válvula queda limitada al intervalo 0 – 100 %

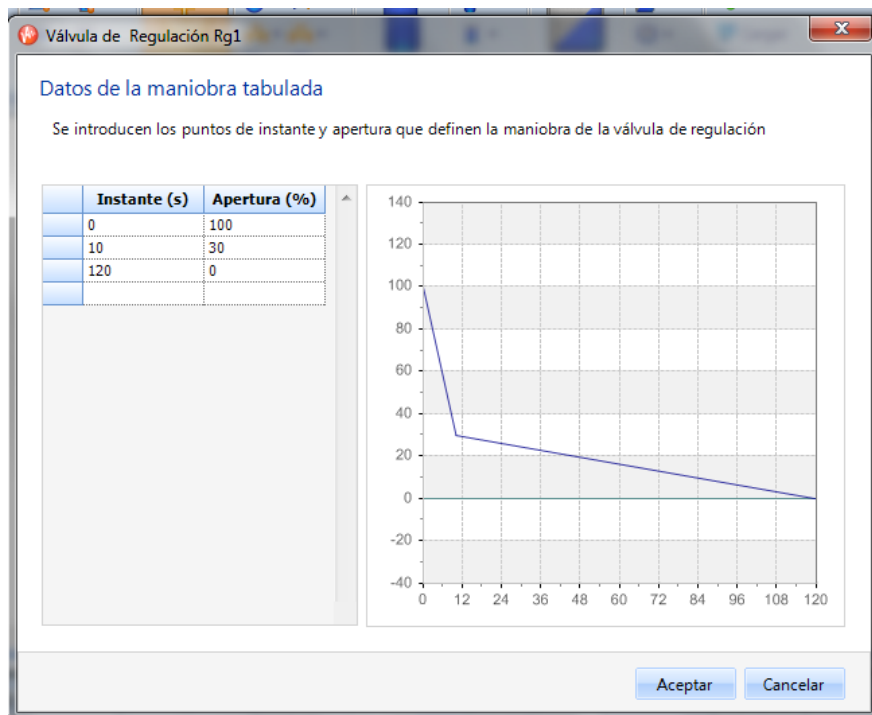
Para definir las maniobras de forma tabulada se darán los siguientes datos:

- *Instante t_i* . Es el instante de tiempo correspondiente al punto i .
- *Grado de apertura A_{ri}* . Es la apertura relativa de la válvula, en % respecto de la apertura máxima, en el instante t_i .

El usuario debe ingresar la maniobra de la válvula de la siguiente manera:

- Ir a *Maniobra* → *Tipo* → *Tabulada*
- Ir a *Tabulada* → *Tabla*

Maniobra	Tabulada
Tipo	Tabla
Tabulada ▼	<input data-bbox="821 1543 971 1579" type="button" value="..."/>



La maniobra sinusoidal va a seguir una función periódica de la siguiente forma:

$$Ap(t) = Ap_0 + A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + B\right) \quad (15)$$

donde la apertura relativa, en % respecto de la apertura máxima, depende de los siguientes parámetros:

- Apertura inicial Ap_0 . Es la apertura de la válvula en el instante inicial, en % respecto de la apertura máxima.
- Amplitud A . Es la amplitud de la oscilación, en % respecto de la apertura máxima.
- Período T . Es el período de oscilación del grado de apertura de la válvula, en s.
- Fase B . Es el ángulo de fase en la oscilación del grado de apertura de la válvula, en grados.

La maniobra sinusoidal se ingresa de la siguiente manera:

- Ir a Maniobra \rightarrow Tipo \rightarrow Sinusoidal
- Ir a Sinusoidal \rightarrow Apertura inicial Ap_0 (%)
- Ir a Sinusoidal \rightarrow Amplitud A (%)
- Ir a Sinusoidal \rightarrow Periodo T (s)

- Ir a Sinusoidal → Angulo de fase B (grados)

Maniobra	Tabulada	Sinusoidal: $A_p(t) = A_{p0} + A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / T + B)$			
Tipo	Tabla	$A_{p0}(\%)$	$A(\%)$	$T(s)$	$B(\text{grados})$
Sinusoidal ▼		50	25	10	45

3.6.2 Válvulas de retención

Estas válvulas abren cuando el caudal circula en sentido directo, y cierran cuando dicho caudal se establece en sentido inverso. Se consideran elementos ideales, cerrando instantáneamente en el mismo momento en que el caudal a la salida de la válvula se transforma en negativo. Sus características son:

- Cota. Es la cota a la que se sitúa la válvula, la misma que sus nudos extremos.
- *Diámetro nominal*. Es el diámetro nominal de la válvula.
 - Ir a Válvula de retención – Datos básicos → Cota (Z)
 - Ir a Válvula de retención – Datos básicos → Diámetro Nominal (DN)

Válvula Retención - Datos básicos				
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	DN (mm)
Rt1	N3	N4	15	250

- *Coeficiente de pérdidas k del ramal*. Es el coeficiente de pérdidas adimensional del ramal donde está conectada la válvula.
- *Coeficiente de pérdidas k de la válvula cerrada*. Es el coeficiente de pérdidas adimensional de la válvula cerrada. Si con la válvula cerrada el flujo de retorno está completamente impedido, este coeficiente se tomará de $1 \cdot 10^{25}$.
- *Coeficiente de pérdidas k de la válvula abierta*. Es el coeficiente de pérdidas adimensional de la válvula abierta.
 - Ir a Pérdidas de carga → Coeficiente de pérdida del ramal (k Ramal)
 - Ir a Pérdidas de carga → Coeficiente de pérdida válvula cerrada (k 0%)
 - Ir a Pérdidas de carga → Coeficiente de pérdida válvula abierta (k 100%)


Pérdidas de carga		
k Ramal	k 0%	k 100%
10	1E+25	5

3.6.3 Válvulas de alivio

Son válvulas que se abren cuando la presión en su punto de conexión supera un determinado valor, descargando al exterior todo o parte del caudal circulante mientras la presión se mantenga por encima de dicho valor. Una vez abiertas, el grado de apertura es función de la presión de entrada hasta la apertura completa. Y a presiones más bajas estas válvulas permanecerán cerradas.

Sus características son:

- *Cota*. Es la cota a la que se sitúa la válvula, la misma que sus nudos extremos.
- *Número de ramales en paralelo*. Es el número de válvulas de alivio, instaladas en paralelo, que constituyen la estructura en cuestión. El programa admite un determinado número de válvulas en paralelo, no necesariamente iguales.
- Ir a Válvula de Alivio – Datos básicos → Cota (Z)
- Ir a Válvula de Alivio – Datos básicos → Número de ramales (NR)

Válvula Alivio - Datos básicos					
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	NR
	Al1	N14	N15	42	3


Para cada una de las válvulas de alivio instaladas en paralelo, los datos necesarios son:

- *Diámetro nominal*. Es el diámetro nominal de la válvula.
- *Coeficiente de pérdidas k del ramal*. Es el coeficiente de pérdidas adimensional del ramal donde está conectada la válvula.
- *Tipo de válvula*. Es el tipo de válvula de alivio a instalar en el ramal, eligiéndose uno de los siguientes tipos:

-  Mariposa
-  Esférica
-  Compuerta
-  Globo



Una vez se introduce el número de ramales, al desplegar la tabla de datos se introducen estos datos para cada uno de los ramales.

- Desplegando la tabla de Datos básicos () → Diámetro Nominal (DN)
→ Coeficiente Pérdida (k)
→ Tipo

Válvula Alivio - Datos básicos						
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	NR	
<input type="checkbox"/>	Al1	N13	N14	42	3	
		Ramal	DN (mm)	k Ramal	Tipo	Modelo
		1	150	5	De globo ▾	
		2	175	5	De globo ▾	
		3	200	8	Comercial ▾	PAÑO ANULAR CR 200 ...

Para cada uno de los tipos definidos, excepto el caso de válvula comercial, el programa dispone de una curva característica típica que proporciona el coeficiente de pérdidas adimensional en función del grado de apertura de la válvula de alivio.

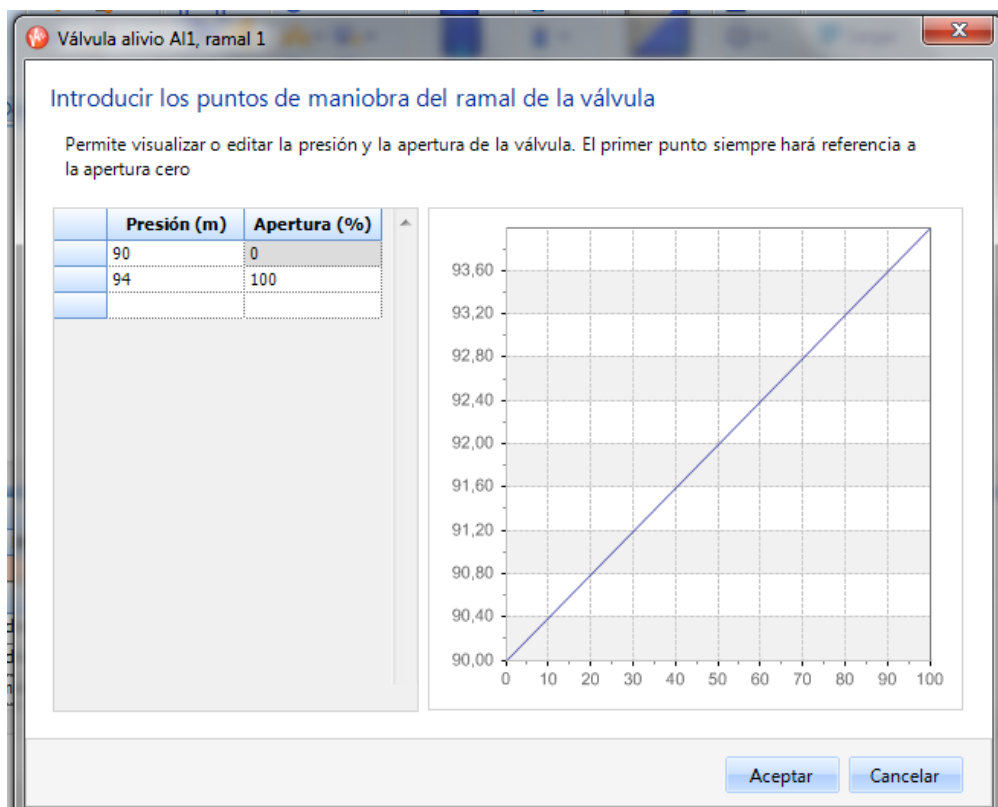
En caso de válvula comercial, la curva característica de la válvula se obtendrá de la base de datos de válvulas confeccionada a partir de información de catálogo. Para estas válvulas se deberá disponer del coeficiente de pérdidas adimensional en función del grado de apertura, entre el 0 % y el 100 % a intervalos del 5 % de grado de apertura.

El proceso es igual al mostrado para la válvula de regulación de tipo comercial.

- *Maniobra de la válvula.* Relaciona el grado de apertura de la válvula con la presión en el nudo de entrada. Para definir esta maniobra de forma tabulada se darán los siguientes datos:
 - *Presión p_i .* Es la presión de entrada correspondiente al punto i .
 - *Grado de apertura A_{ri} .* Es la apertura relativa de la válvula, en % respecto de la apertura máxima, para la presión p_i . Evidentemente a la presión mínima de la tabla le corresponderá un grado de apertura cero, siendo dicha presión la que provoca el inicio de la apertura. Obviamente la presión inicial de la tabla deberá ser mayor que la presión del punto de conexión en régimen permanente.

- Desplegando la tabla de Datos básicos (+) → Tabla

Válvula Alivio - Datos básicos					
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	NR
<input checked="" type="checkbox"/>	Al1	N14	N15	42	3
	Ramal	DN (mm)	k Ramal	Tipo	Modelo
	1	150	5	De diafragma	






Para eliminar la válvula de alivio de uno de los ramales se selecciona este, pulsando desde el ratón sobre la correspondiente casilla de la izquierda. A continuación se elimina la válvula pulsando la tecla *Supr.*

Válvula Alivio - Datos básicos					
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	NR
<input checked="" type="checkbox"/>	Al1	N13	N14	42	3
	Ramal	DN (mm)	k Ramal	Tipo	Modelo
	1	150	5	De globo	
	2	175	5	De globo	
<input type="checkbox"/>	3	200	8	Comercial	PASO ANULAR CR 200

3.6.4 Válvulas de sobrevelocidad

Son válvulas que cierran cuando se detecta una variación considerable del caudal circulante, como puede ser el caso de una rotura. Su misión es evitar posibles inundaciones tras la rotura. Las características de estas válvulas son:

- *Cota*. Es la cota a la que se sitúa la válvula, la misma que sus nudos extremos.
- *Diámetro nominal*. Es el diámetro nominal de la válvula.
- *Coeficiente de pérdidas k del ramal*. Es el coeficiente de pérdidas adimensional del ramal donde está conectada la válvula.
- *Tipo de válvula*. Es el tipo de válvula a instalar, eligiéndose uno de los siguientes tipos:

-  Mariposa
-  Esférica
-  Compuerta
-  Globo
-  Diafragma
-  Comercial

- Ir a Válvula de Sobrevelocidad – Datos básicos → Cota (Z)
- Ir a Válvula de Sobrevelocidad – Datos básicos → Diámetro Nominal (DN)
- Ir a Válvula de Sobrevelocidad – Datos básicos → Coeficiente de pérdidas del ramal (k)
- Ir a Válvula de Sobrevelocidad – Datos básicos → Tipo

Válvula Sobrevelocidad - Datos básicos				
Z (m)	DN (mm)	k Ramal	Tipo	Modelo
15	350	6	Mariposa	
			<div> <div>Mariposa</div> <div> <div>Esférica</div> <div>De compuerta</div> <div>De globo</div> <div>De diafragma</div> <div>Comercial</div> </div> </div>	

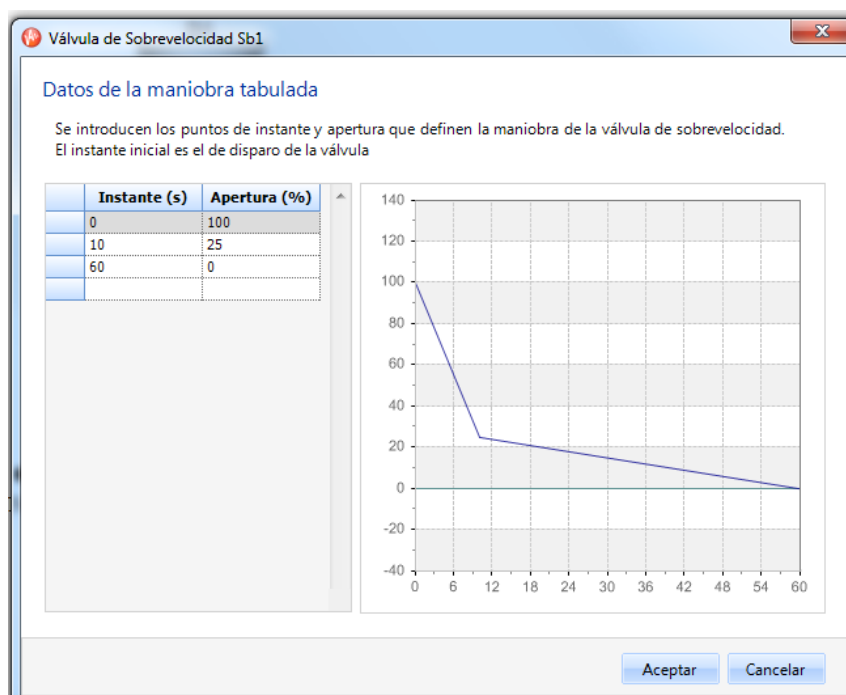
Para cada uno de estos tipos, excepto el caso de válvula comercial, el programa dispone de una curva característica típica que proporciona el coeficiente de pérdidas adimensional en función del grado de apertura de la válvula.

Para el caso de válvula comercial, la curva característica de la válvula se obtendrá de la base de datos de válvulas confeccionada a partir de información de catálogo. Para estas válvulas se deberá disponer del coeficiente de pérdidas adimensional en función del grado de apertura, entre el 0 % y el 100 % a intervalos del 5 % de grado de apertura.

Las válvulas de sobrevelocidad cerrarán mediante una maniobra tabulada definida por puntos. Así, para el punto i tendremos:

- *Instante t_i* . Es el instante de tiempo correspondiente al punto i . Este tiempo se contabiliza a partir del instante de disparo de la válvula, o instante en que se inicia el proceso de cierre.
 - *Grado de apertura A_{ri}* . Es la apertura relativa de la válvula, en % respecto de la apertura máxima, en el instante t_i . Para el instante inicial el grado de apertura de la válvula será del 100 %.
- Ir a *Válvula de Sobrevelocidad – Datos básicos* → *Tabla*

Válvula Sobrevelocidad - Datos básicos					
Z (m)	DN (mm)	k Ramal	Tipo	Modelo	Tabla
15	350	6	Mariposa		(!)



En una válvula de sobrevelocidad, el disparo se puede producir:

- *Por velocidad mínima.* La válvula dispara cuando la velocidad en la misma es menor que un determinado valor.
- *Por velocidad máxima.* La válvula dispara cuando la velocidad en la misma es mayor que un determinado valor.
- *Por diferencia de caudales.* La válvula dispara cuando la diferencia de caudales entre dos puntos definidos sobre tuberías del sistema es mayor que un determinado valor.

- Ir a *Válvula de Sobrevelocidad – Datos básicos* → *Disparo*

Válvula Sobrevelocidad - Datos básicos				
k Ramal	Tipo	Modelo	Tabla	Disparo
6	Mariposa			<div> Por velocidad máxima </div> <div> Por diferencia de caudales </div> <div> Por velocidad mínima </div> <div> Por velocidad máxima </div>

Para las válvulas que disparan por velocidad mínima o máxima, la velocidad de disparo será:

- *Velocidad de disparo (V).* Es la velocidad, mínima o máxima, que provoca el disparo de la válvula.
- Ir a *Válvula de Sobrevelocidad – Datos básicos* → *Velocidad de disparo (V)*

Disparo	V (m/s)
Por velocidad máxima	2

Para las válvulas que disparan por diferencia de caudales se deberán ubicar los caudalímetros inicial y final cuya diferencia de caudales provoque el disparo. Por ello los datos necesarios son:

- *Tubería donde está el caudalímetro.* Denominación de las tuberías donde se encuentran los caudalímetros inicial y final. En general ambos caudalímetros estarán sobre la misma tubería, aunque también pueden estar en tuberías diferentes.
- *Distancia al origen de la tubería.* Distancia al origen de la correspondiente tubería donde se encuentra ubicado cada uno de los caudalímetros.

- *Coeficiente de caudal del caudalímetro (+1, -1).* Es el parámetro que indica el sentido del caudal para el cálculo de la diferencia de caudales que provoca el disparo. Si el coeficiente vale +1, el caudal se considera positivo en el sentido de la tubería, y si el coeficiente vale -1 el caudal se considera positivo en sentido contrario al de la tubería. Si los dos caudalímetros se encuentran sobre la misma tubería, los dos coeficientes de caudal deberían ser iguales.
- *Ir a Disparo por diferencia de caudal → Caudalímetros → Pulsando en el botón ubicado en el campo Caudalímetros, se muestra una tabla en la que el usuario debe introducir los datos de los caudalímetros.*

Disparo por diferencial de caudal			
Dif. Q (l/s)	Caudalímetros	Caud i	Caud f
25	(!)		

Caudalímetros para disparo de la válvula Sb2

Configuración de los caudalímetros

Caudalímetros cuya diferencia de caudales controla el disparo de la válvula de sobrevelocidad

Caudalímetro inicial

Tubería donde está el caudalímetro: T4

Distancia al origen de la tubería(m): 30,00

Coeficiente de Q del caudalímetro (-1,+1): 1

Caudalímetro final

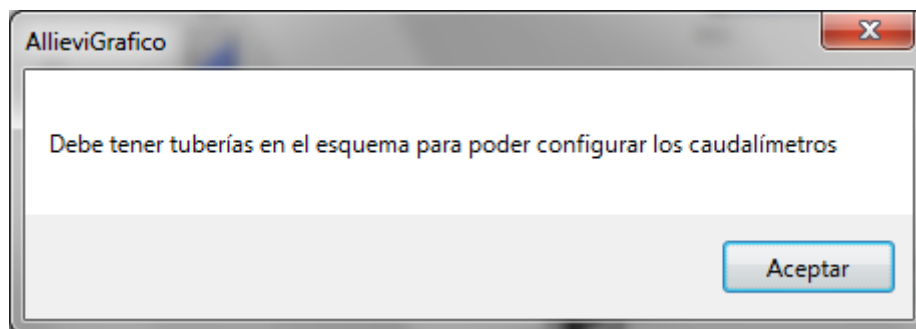
Tubería donde está el caudalímetro: T5

Distancia al origen de la tubería(m): 75,00

Coeficiente de Q del caudalímetro (-1,+1): -1

Aceptar Cancelar

NOTA: En caso que de no contar con tuberías disponibles, el programa emite el siguiente aviso.



En cada instante de cálculo, el programa calculará la diferencia entre los caudales obtenidos en los puntos de ubicación de los caudalímetros inicial y final, afectados ambos del correspondiente coeficiente de caudal. El valor absoluto de esta diferencia se compara con un valor de referencia para decidir el disparo o no de la válvula de sobrevelocidad. El dato necesario será:

- *Diferencia de caudales*. Valor de referencia de la diferencia de caudales para el disparo de la válvula de sobrevelocidad.
- *Ir a Disparo por diferencial de caudal → Caudalímetros*

Disparo por diferencial de caudal			
Dif. Q (l/s)	Caudalímetros	Caud i	Caud f
25		T4	T5

3.6.5 Inyectores

Son válvulas, con descarga a la atmósfera, cuyo diámetro de salida es menor que su diámetro nominal. En ellas se admite que la velocidad de salida puede ser elevada, razón por la cual el término cinético correspondiente a dicha velocidad no es despreciable. Sus características son:

- *Cota (Z)*. Es la cota a la que se sitúa el inyector, la misma que su nudo de conexión.
- *Diámetro nominal (DN)*. Es el diámetro nominal del inyector.
- *Diámetro de boquilla (D Boq)*. Es el diámetro de salida del inyector. Este diámetro deberá ser menor que el diámetro nominal.
- *Coeficiente de pérdidas (k) del ramal*. Es el coeficiente de pérdidas adimensional del ramal donde está conectado el inyector. Este coeficiente de pérdidas está relacionado con la velocidad referida al DN del inyector.

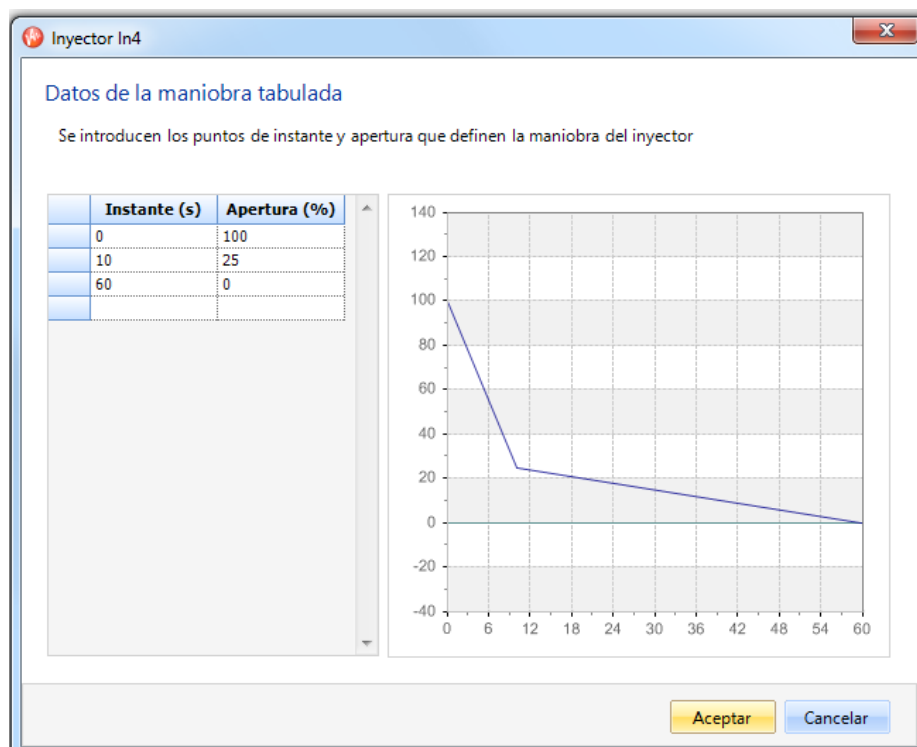
Estos datos se ingresan de la siguiente manera:

- Ir a Inyector – Datos básicos → Cota (Z)
- Ir a Inyector – Datos básicos → Diámetro nominal (DN)
- Ir a Inyector – Datos básicos → Diámetro de boquilla (D Boq)
- Ir a Válvula de regulación – Datos básicos → Coeficiente de Pérdidas (k)

Inyector - Datos básicos					
Nombre	Nudo	Z (m)	D (mm)	D Boq (mm)	k Ramal
In4	N10	58	200	75	30

Los datos sobre Tipo de Válvula Inyector y Tipo de Maniobra se definen de la misma manera que los correspondientes datos de las Válvulas de Regulación, apartado 3.6.1.

Válvula inyector		Maniobra		Sinusoidal: $A_p = K + A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot T + B)$			
Tipo	Modelo	Tipo	Datos	K(%)	A(%)	T(s)	B(grados)
Comercial	...	Tabulada					
<div> <div>Comercial</div> <div>De diafragma</div> <div>De globo</div> <div>De compuerta</div> <div>Esférica</div> <div>Mariposa</div> </div>							



3.6.6 Pérdida de carga localizada

Corresponde a una pérdida de carga localizada en una posición determinada del sistema. Por ejemplo, un accesorio que provoca una pérdida localizada entre dos tramos de una tubería. Los datos necesarios son:

- *Cota*. Es la cota a la que se sitúa la pérdida localizada, la misma que sus nudos extremos.
- *Diámetro nominal*. Es el diámetro nominal del accesorio que provoca la pérdida localizada.
- *Coeficiente de pérdidas k*. Es el coeficiente de pérdidas adimensional del accesorio.
 - Ir a Válvula de Pérdida localizada – Datos básicos → Cota (Z)
 - Ir a Válvula de Pérdida localizada – Datos básicos → Diámetro Nominal (DN)
 - Ir a Válvula de Pérdida localizada – Datos básicos → Coeficiente de pérdidas (k).

Pérdida localizada - Datos básicos					
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	DN (mm)	k
Cr2	N25	N26	15	250	10

3.6.7 Válvula compuesta

Es un elemento compuesto por un determinado número de válvulas instaladas en paralelo, las cuales pueden ser de regulación, de retención, y accesorios que provoquen pérdidas localizadas. Para las válvulas compuestas, los datos necesarios son:

- *Cota*. Es la cota a la que se sitúa la válvula compuesta, la misma que sus nudos extremos.
 - Ir a Válvula compuesta – Datos básicos → Cota (Z)

Válvula compuesta - Datos básicos				
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)
<input type="checkbox"/>	Cp1	N27	N28	15




- *Número de válvulas de regulación*. Es el número de válvulas de regulación que forman parte de la válvula compuesta.

- *Número de válvulas de retención.* Es el número de válvulas de retención que forman parte de la válvula compuesta.
- *Número de pérdidas localizadas.* Es el número de accesorios, que provocan pérdidas localizadas, y que forman parte de la válvula compuesta.
 - *Ir a Válvulas → Regulación:* Se debe ingresar el número de válvulas de regulación necesarias.
 - *Ir a Válvulas → Retención:* Se debe ingresar el número de válvulas de retención necesarias.
 - *Ir a Válvulas → Pérdida:* Se debe ingresar el número de accesorios que provoquen pérdida de carga localizada.

Válvula compuesta - Datos básicos					Válvulas		
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Regulación	Retención	Pérdida
+	Cp1	N27	N28	15	2	1	1

Los datos de cada uno de los componentes que forman parte de la válvula compuesta son los mismos que se presentan en los apartados 3.6.1 (válvulas de regulación), 3.6.2 (válvulas de retención) y 3.6.6 (pérdidas localizadas).

- *Desplegando la tabla de Datos básicos de Válvula compuesta (+)→ se deben ingresar los datos de cada una de las válvulas declaradas.*

Válvula compuesta - Datos básicos					Válvulas		
	Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Regulación	Retención	Pérdida
-	Cp2	N17	N18	15	2	1	1
+		Ramal	DN (mm)	k Ramal	Tipo	Modelo	Maniobra
	1	250	10	De compuerta		Tabulada	
	2	250	6,5	Mariposa		Tabulada	
+		Ramal	DN (mm)	k Ramal	k 0%	k 100%	
	3	300	8	1E+25	5,5		
+		Ramal	DN (mm)	k Accesorio			
	4	250	60				

Para eliminar uno cualquiera de los componentes de la válvula compuesta se selecciona este, pulsando desde el ratón sobre la correspondiente casilla de la izquierda. A continuación se elimina el componente pulsando la tecla *Supr.* Es el mismo procedimiento que se utiliza para suprimir ramales en la válvula de alivio.




3.6.8 Válvulas automáticas

Estas válvulas van a tener un funcionamiento automático, modificando su grado de apertura para mantener constante el valor de un determinado parámetro de funcionamiento. Los datos de estas válvulas son:

- *Cota*. Es la cota a la que se sitúa la válvula automática, la misma que sus nudos extremos.
- *Diámetro nominal*. Es el diámetro nominal de la válvula.
- *Coeficiente de pérdidas k del ramal*. Es el coeficiente de pérdidas adimensional del ramal donde está conectada la válvula.
 - Ir a Válvula automáticas – Datos básicos → Cota (Z)
 - Ir a Válvula automáticas – Datos básicos → Diámetro Nominal (DN)
 - Ir a Válvula automáticas – Datos básicos → Coeficiente pérdidas (k Ramal)

Válvula Automática - Datos básicos						
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	DN (mm)	k Ramal	Clase
Rp1	N7	N8	15	250	6,5	Reductora presión ▼

- *Clase de válvula*. Es la clase de válvula a instalar, según la siguiente clasificación:

-  Reductora de presión
-  Sostenedora de presión
-  Limitadora de caudal

Para declarar el tipo de válvula automática, el procedimiento es el siguiente:

- Ir a Válvula automáticas – Datos básicos → Clase → Reductora de presión
- Ir a Válvula automáticas – Datos básicos → Clase → Sostenedora de presión
- Ir a Válvula automáticas – Datos básicos → Clase → Limitadora de Caudal

Válvula Automática - Datos básicos				
Z (m)	DN (mm)	k Ramal	Clase	Tipo
15	250	6,5	Reductora presión ▼	De globo ▼
			Reductora presión	
			Sostenedora presión	
			Limitadora caudal	

- *Tipo de válvula.* Es el tipo de válvula a instalar, eligiéndose uno de los siguientes tipos:

-  Mariposa
-  Esférica
-  Compuerta
-  Globo
-  Diafragma
-  Comercial

- *Ir a Válvula automáticas – Datos básicos → Tipo*

Válvula Automática - Datos básicos				
Z (m)	DN (mm)	k Ramal	Clase	Tipo
15	250	6,5	Reductora presión	De globo
				Mariposa
				Esférica
				De compuerta
				De globo
				De diafragma
				Comercial

Para cada uno de estos tipos, excepto el caso de válvula comercial, el programa dispone de una curva característica típica que proporciona el coeficiente de pérdidas adimensional en función del grado de apertura de la válvula.

Para el caso de válvula comercial, la curva característica de la válvula se obtendrá de la base de datos de válvulas confeccionada a partir de información de catálogo. Para estas válvulas se deberá disponer del coeficiente de pérdidas adimensional en función del grado de apertura, entre el 0 % y el 100 % a intervalos del 5 % de grado de apertura.

El funcionamiento de las válvulas automáticas está concebido como un regulador que, actuando sobre el grado de apertura de la válvula, intenta mantener constante el valor de consigna. En general, la expresión que define el funcionamiento de este regulador indica que la velocidad de respuesta de la válvula es proporcional al error entre el valor actual del parámetro a regular y el valor de consigna de este parámetro. Su forma es:

$$\frac{du(t)}{dt} = \pm K_p e(t) \quad (16)$$

donde

e = Error entre el valor actual del parámetro y el valor de consigna, adimensionalizado mediante el valor de consigna

u = Respuesta de la válvula para la corrección del error, en porcentaje de apertura

En la expresión (16) se toma signo positivo para las válvulas sostenedoras de presión, mientras que se toma signo negativo para las reductoras de presión y para las reguladoras de caudal.

Los datos correspondientes a la regulación de las válvulas automáticas son:

- *Presión de tarado*. Es la presión de consigna a la entrada de las válvulas sostenedoras de presión, o a la salida de las válvulas reductoras de presión.

Esta opción se encuentra habilitada solo cuando se declaran las válvulas sostenedoras de presión y las válvulas reductoras de presión.

- Ir a Datos de Regulación → Presión de tarado (P_{tar})

Datos de Regulación		
P_{tar} (m)	Q_{tar} (l/s)	K_p
50		2

- *Caudal de tarado*. Es el caudal de consigna en las válvulas limitadoras de caudal.

Esta opción se encuentra habilitada solo cuando se declaran las válvulas limitadoras de caudal.

- Ir a Datos de Regulación → Caudal de tarado (Q_{tar})

Datos de Regulación		
P_{tar} (m)	Q_{tar} (l/s)	K_p
	75	2

- *Coeficiente K_p* : Es el coeficiente del regulador que simula el comportamiento de la válvula.

La manera de introducir el coeficiente del regulador es la siguiente:

- Ir a Datos de Regulación → Coeficiente de proporcionalidad (K_p)

Datos de Regulación		
Ptar (m)	Qtar (l/s)	Kp
50		2


IMPORTANTE: En cada caso el coeficiente K_p se deberá obtener probando diferentes valores hasta que, en régimen transitorio, los parámetros regulados (presiones o caudales) tiendan sin oscilar hacia los valores de consigna (o con las menores oscilaciones posible). Posteriormente, las válvulas automáticas a instalar se deberán ajustar para que su comportamiento sea semejante al que se obtiene como resultado de la simulación.



3.7 Estructuras de protección

Las estructuras de protección se utilizan para reducir las oscilaciones de presión una vez se ha generado el transitorio. En general almacenan un determinado volumen de agua, y funcionan aportando caudal a la conducción principal en el momento en que se reduce el caudal circulante. Posteriormente, al cambiar el sentido del caudal, éste se va introduciendo dentro de la estructura de protección con lo que su frenado es más lento. De esta manera los cambios de caudal en la tubería principal se ralentizan, reduciéndose con ello las oscilaciones de presión.

Los elementos a disponer en el ramal de entronque entre la tubería principal y la estructura de protección deberán presentar en su conjunto un coeficiente de pérdidas bajo para el flujo de salida de la estructura, y un coeficiente de pérdidas alto para el flujo de entrada. De esta manera se facilita el flujo de salida desde la estructura hacia la tubería principal, con lo que se reducen las depresiones en esta última tubería y se evitan con ello presiones negativas. Además, en el flujo de entrada desde la tubería principal hacia la estructura de protección se crean pérdidas importantes en la tubería de entronque, las cuales van disipando la energía del agua y frenando el desarrollo del transitorio.

Los tipos de estructuras de protección incluidos en el programa son:

Tipos de Elemento			Representación Gráfica en ALLIEVI
1.	Depósito Calderín	hidroneumático o	

2. <i>Chimenea de Equilibrio</i>	
3. <i>Tanque Unidireccional</i>	

En la relación de datos necesarios distinguiremos entre los datos de la propia estructura y los datos del ramal de unión. Como estos últimos datos son comunes a todas las estructuras, su consideración se realizará una vez se presenten los datos particulares de las estructuras.

3.7.1 Depósitos hidroneumáticos o Calderines

- *Cota del nudo de derivación.* Es la cota del nudo al que se conecta la derivación o ramal de unión del calderín.
- *Número de calderines.* Es el número de calderines iguales, en paralelo, que constituyen la estructura de protección.
- *Diámetro.* Es el diámetro interior del calderín.
- *Longitud.* Es la longitud del calderín, supuesto éste de forma cilíndrica.
- *Volumen.* Es el volumen total del calderín, calculado por el programa una vez se dispone del diámetro y de la longitud del calderín.
- *Cota de la base.* Es la cota a la que se encuentra la base o la arista inferior del calderín.
- *Rugosidad absoluta.* Es la rugosidad absoluta de las paredes interiores del calderín.
- *Posición.* El calderín puede estar en posición vertical (calderines pequeños) u horizontal (calderines medianos y grandes)
- *Tipo.* El calderín puede ser sin vejiga o con vejiga

La manera de introducir estos datos es la siguiente:

- *Ir a Calderines - Datos básicos* → *Cota del nudo de derivación (Zu)*
→ *Número de Calderines (Num)*
- *Ir a Características físicas del Calderín* → *Diámetro (D)*
→ *Longitud (L)*
→ *Volumen (V)*

- Rugosidad Absoluta (*Rug*)
- Cota de la base (*Zb*)
- Posición (*Horizontal/Vertical*)
- Vejiga (*No/Si*)

Calderines - Datos básicos				
Nombre	Nudo	Zu (m)	Num	Act
Cald	N17	21	4	<input checked="" type="checkbox"/>

Características físicas del calderín						
D (m)	L (m)	V (m ³)	Rug (mm)	Zb (m)	Posición	Vejiga
1,9	3,53	10,008564	0,1	21	Horizontal ▾	Si ▾

- *Presión de hinchado del gas.* En caso de calderín con vejiga, es la presión a la que hay que hinchar la vejiga antes de la puesta en obra de dicho calderín. Para el calderín sin vejiga, el hinchado se realizará cerrando una válvula en la boca de conexión del calderín (posteriormente, esta válvula se abrirá una vez esté la instalación en marcha y las bombas funcionando a régimen). Para el cálculo de la presión de hinchado, admitiendo que el gas sufre una evolución isoterma entre el hinchado y el funcionamiento de la instalación en condiciones de régimen permanente, la expresión a utilizar es:

$$P_h^* \forall_{TC} = P_{oc}^* \forall_{0g} \quad (17)$$

siendo: P_h^* = Presión de hinchado, en valor absoluto. Para determinar la presión de hinchado en valor relativo se le restará la presión atmosférica.

\forall_{TC} = Volumen total del calderín.

P_{oc}^* = Presión del gas en condiciones de régimen permanente, en valor absoluto. En calderines conectados al colector de impulsión de una estación de bombeo, esta presión se estima aproximadamente como la altura que crean las bombas en condiciones de régimen permanente, descontando la diferencia de cotas entre las bombas y el nivel medio del agua en los calderines, y sumando la presión atmosférica.

\forall_{0g} = Volumen del gas en el interior del calderín en condiciones de régimen permanente.

En ALLIEVI el usuario puede ingresar el valor de la presión de hinchado o utilizar el asistente que proporciona el programa, el cual introduciendo parámetros como el volumen inicial de gas en metros cúbicos y la presión inicial del gas en metros, este asistente calcula automáticamente la presión de hinchado del Calderín.

- Ir a Características físicas del Calderín → Presión de Hinchado (P) → Calc.

Características físicas del calderín							
D (m)	L (m)	V (m ³)	Rug (mm)	Zb (m)	Posición	Vejiga	P (m)
1,9	3,53	10,008564	0,1	21	Horizontal ▾	Si ▾	21,77 Calc.

- *Exponente politrópico.* Es el exponente n que caracteriza la evolución termodinámica del gas en el interior del calderín durante el funcionamiento del sistema en régimen transitorio, de la forma.

$$P_C^* V_g^n = cte \quad (18)$$

Para evolución isoterma $n = 1$, para evolución diabática $n = 1'4$, y para evolución politrópica $n = 1'2$. Este último valor es el que se adopta habitualmente, pues la evolución del gas se puede considerar como intermedia entre la isoterma y la adiabática.

- Ir a *Características físicas del Calderín* → *Exponente Politrópico*.

Características físicas del calderín						
V (m ³)	Rug (mm)	Zb (m)	Posición	Vejiga	P (m)	EP
10,008564	0,1	21	Horizontal ▼	Si ▼	21,77 <input type="button" value="Calc."/>	1,2



Como se ha indicado anteriormente, el calderín puede ser con vejiga o sin vejiga. En principio el comportamiento de ambos tipos de calderines es el mismo mientras no se vacíen de agua durante el funcionamiento en régimen transitorio. Para el caso de vaciado, si el calderín es con vejiga en el momento del vaciado dicha vejiga cierra el orificio de conexión del calderín con la tubería de entronque. En este momento se interrumpe bruscamente la alimentación de la tubería principal desde el calderín, creándose con ello una onda de depresión que puede someter a dicha tubería a presiones negativas. Posteriormente, en la fase sobrepresiva del transitorio el agua puede volver a entrar al calderín y repetirse el ciclo según cómo evolucione el transitorio.

Sin embargo, si el calderín es sin vejiga, en caso de vaciado de agua el gas (aire en este caso) continúa su expansión ocupando todo el calderín e introduciéndose en la tubería de entronque y, eventualmente, en el interior de la tubería principal. En este caso no se interrumpe la alimentación de dicha tubería y no se genera la onda de depresión del caso anterior, pero parte del gas puede desplazarse por el interior de la tubería principal y ya no regresar al calderín en la posterior fase sobrepresiva. Y un determinado volumen de gas desplazándose sin control por el interior de la tubería principal puede crear peligro de rotura en la posterior puesta en marcha de la instalación. En la simulación se admite que en caso de vaciado todo el gas queda confinado entre el calderín y la tubería de entronque, sin pasar a la tubería principal. En consecuencia, toda la masa de gas podrá volver al interior del calderín en la siguiente fase sobrepresiva del transitorio.

3.7.2 Chimeneas de equilibrio

- *Cota del nudo de derivación.* Es la cota del nudo al que se conecta la derivación o ramal de unión de la chimenea de equilibrio.
- *Tipo:* Es el tipo de chimenea de equilibrio a instalar, eligiéndose uno de los siguientes tipos:

 De sección constante

-  De sección variable
-  Diferencial

La manera de introducir estos datos es la siguiente:

- Ir a *Chimenea - Datos básicos* → Cota del nudo (Zu)
→ Tipo (SC-SV-DF)

Chimeneas - Datos básicos						
Nombre	Nudo	Zu (m)	Act	Tipo	D (m)	Rug (mm)
Ch1	N18	21	<input checked="" type="checkbox"/>	SC		
				SC		
				SV		
				DF		

3.7.2.1 Chimeneas de sección constante

Los datos de la chimenea de equilibrio de sección constante son:

- *Diámetro*. Es el diámetro interior de la chimenea de sección circular constante.
- *Rugosidad absoluta*. Es la rugosidad absoluta de las paredes interiores de la chimenea.
- *Cota de la base*. Es la cota a la que se encuentra la base o solera de la chimenea.

La manera de introducir estos datos es la siguiente:

- Ir a *Chimenea - Datos básicos* → Diámetro (D)
→ Rugosidad Absoluta (Rug)
→ Cota de la base (Zb)

Chimeneas - Datos básicos							
Nombre	Nudo	Zu (m)	Act	Tipo	D (m)	Rug (mm)	Zb (m)
ChSC	N8	21	<input checked="" type="checkbox"/>	SC	6,5	0,3	22,5

NOTA: Se admite que la altura de esta chimenea es suficiente para que no llegue a desbordar. Si se necesita simular el caso de una chimenea de altura conocida y con peligro de desbordamiento, esta chimenea se podría sustituir por un depósito de pequeñas dimensiones con aliviadero lateral.

3.7.2.2 Chimeneas de sección variable

En principio hay que definir la chimenea como de sección variable (SV).

Chimeneas - Datos básicos								
Nombre	Nudo	Zu (m)	Act	Tipo	D (m)	Rug (mm)	Zb (m)	Vol. acum.
ChSV	N8	21	<input checked="" type="checkbox"/>	SV				

En estas chimeneas se admite que la sección varía escalonadamente, con tramos de sección constante entre las cotas inferior y superior de cada escalón. Se define un número de tramos N_{tr} de sección constante en que queda dividida la chimenea. Con ello resultan $N_{tr} + 1$ puntos de manera que el punto 0 corresponde a la solera de la chimenea, el punto N_{tr} corresponde al nivel superior de la chimenea, y los $N_{tr} - 1$ puntos restantes corresponden a los diferentes cambios de sección, ordenados de abajo hacia arriba.

Para cada punto i , desde $i = 0$ hasta $i = N_{tr}$, los datos necesarios son:

- *Cota del punto*. Es la cota a la que se encuentra este punto, a partir del nivel de referencia establecido.
- *Volumen acumulado*. Es el volumen de chimenea acumulado desde la solera hasta el punto i . Para $i = 0$, el programa asigna directamente un volumen acumulado de cero y después el usuario ingresa el volumen para cada una de las cotas de la chimenea.

El volumen de la chimenea de sección variable se introduce de la siguiente manera:

- *Chimenea – Datos básicos* → *Volumen Acumulado (SV)*



3.7.2.3 Chimeneas diferenciales

La chimenea diferencial está constituida por una chimenea principal, exterior, disponiéndose en su interior un tubo concéntrico que puede desbordar sobre la chimenea principal. Ambos componentes están conectados por su parte inferior a la tubería de entronque, con sus correspondientes coeficientes de pérdidas para flujos de entrada y de salida.

Para las chimeneas diferenciales los datos necesarios son los siguientes:

Chimenea principal

- *Diámetro*. Es el diámetro interior de la chimenea de sección circular constante.
- *Rugosidad absoluta*. Es la rugosidad absoluta de las paredes interiores de la chimenea.
- *Cota de la base*. Es la cota a la que se encuentra la base o solera de la chimenea.

Estos datos se introducen de la siguiente manera:

- *Chimenea – Datos básicos* → *Diámetro (D)*
→ *Rugosidad absoluta (Rug)*
→ *Cota de la base (Zb)*

Chimeneas - Datos básicos							
Nombre	Nudo	Zu (m)	Act	Tipo ▲	D (m)	Rug (mm)	Zb (m)
ChDF	N8	21	<input checked="" type="checkbox"/>	DF ▼	8	0,3	22,5

Tubo Interior

- *Diámetro*. Es el diámetro interior del tubo que desborda, de sección circular constante.
 - *Altura*. Es la altura del tubo que desborda, medida a partir de la solera de la chimenea.
 - *Rugosidad absoluta*. Es la rugosidad absoluta de las paredes interiores del tubo que desborda.
- *Tubo interior en chimenea diferencial* → *Diámetro (D)*
→ *Altura (H)*
→ *Rugosidad Absoluta (Rug)*

Tubo interior en chimenea diferencial					
D (m)	H (m)	Rug (mm)	Cq	K ent	K sal
3,75	16	0,3		0	0

- *Coeficiente de caudal de la sección que desborda*. Es el coeficiente C_q del vertedero formado por el contorno superior del tubo, utilizado para el cálculo del caudal descargado según la expresión (9). Para la aplicación de esta expresión, la longitud L del vertedero rectangular se sustituye por la longitud de la circunferencia del contorno superior del tubo. Valores típicos de C_q para vertederos de pared delgada varían entre 0'60 y 0'80, con valor máximo 0'85. Para vertedero de pared gruesa este coeficiente vale 0'577.
- *Tubo interior en chimenea diferencial* → *Coeficiente de cauda (Cq)*

Tubo interior en chimenea diferencial					
D (m)	H (m)	Rug (mm)	Cq	K ent	K sal
3,75	16	0,3	0,577	0	0

- *Coeficiente de pérdidas singulares para flujo de entrada al tubo que desborda.* Es el coeficiente de pérdidas K_e para el flujo desde la tubería de entronque hacia el tubo que desborda, el cual proporciona estas pérdidas mediante la expresión

$$h_e = K_e Q_e^2 \quad (19)$$

donde Q_e es el caudal de entrada al tubo que desborda. La unidades de K_e son $m/(m^3/s)^2$

- *Tubo interior en chimenea diferencial $\rightarrow K_{ent}$*

Tubo interior en chimenea diferencial					
D (m)	H (m)	Rug (mm)	Cq	K ent	K sal
3,75	16	0,3	0,577	0,25	0

- *Coeficiente de pérdidas singulares para flujo de salida del tubo que desborda.* Es el coeficiente de pérdidas K_s para el flujo desde el tubo que desborda hacia la tubería de entronque, el cual proporciona estas pérdidas mediante la expresión

$$h_s = K_s Q_s^2 \quad (20)$$

donde Q_s es el caudal de salida del tubo que desborda. La unidades de K_s son $m/(m^3/s)^2$.

- *Tubo interior en chimenea diferencial $\rightarrow K_{sal}$*

Tubo interior en chimenea diferencial					
D (m)	H (m)	Rug (mm)	Cq	K ent	K sal
3,75	16	0,3	0,577	0,25	0,15

3.7.3 Tanques unidireccionales

- *Cota del nudo de derivación.* Es la cota del nudo al que se conecta la derivación o ramal de unión del tanque unidireccional.

- *Diámetro*. Es el diámetro interior del tanque unidireccional de sección circular constante.
- *Cota de la base*. Es la cota a la que se encuentra la base o solera del tanque unidireccional.
- *Rugosidad absoluta*. Es la rugosidad absoluta de las paredes interiores del tanque unidireccional.
- *Nivel máximo del agua en el tanque unidireccional*. Es la altura máxima permitida al agua en el interior del tanque, con referencia a la base o solera del mismo.

La manera de introducir estos datos es la siguiente:

- Ir a *Tanque Unidireccional - Datos básicos* → *Cota del nudo (Zu)*
 → *Diámetro (D)*
 → *Rugosidad absoluta (Rug)*
 → *Cota de la base (Zb)*
 → *Nivel máximo del agua (Niv.max)*

Tanque Unidireccional - Datos básicos							
Nombre	Nudo	Zu (m)	Act	D (m)	Rug (mm)	Zb (m)	Niv.max (m)
TUnid	N8	21	<input checked="" type="checkbox"/>	4	0,3	22,5	5

3.7.4 Otros datos de las estructuras de protección

3.7.4.1 Datos del ramal de unión

Los datos del ramal de unión entre la tubería principal y la estructura de protección son:

- *Diámetro*. Es el diámetro interior del ramal de unión.
- *Longitud*. Es la longitud del ramal de unión. Esta longitud no puede ser menor que la diferencia de cotas entre la base de la estructura y el nudo de derivación.
- *Rugosidad absoluta*. Es la rugosidad absoluta de las paredes interiores del ramal de unión.
- *Coeficiente de pérdidas singulares para flujo de entrada a la estructura*. Es el coeficiente de pérdidas K_e para el flujo desde la tubería de entronque hacia la estructura de protección, el cual proporciona estas pérdidas mediante la

expresión (19) donde Q_e es el caudal de entrada a la estructura. La unidades de K_e son $m/(m^3/s)^2$.

Este coeficiente de pérdidas no se requiere en el caso de tanque unidireccional, al impedirse el flujo de entrada hacia el tanque por cierre de la válvula de retención.

- *Coeficiente de pérdidas singulares para flujo de salida de la estructura.* Es el coeficiente de pérdidas K_s para el flujo desde la estructura de protección hacia la tubería principal, el cual proporciona estas pérdidas mediante la expresión (20) donde Q_s es el caudal de salida de la estructura. La unidades de K_s son $m/(m^3/s)^2$.

Estos datos se introducen en ALLIEVI de la siguiente manera:

- *Ramal de unión* → Diámetro (D)
→ Longitud (L)
→ Rugosidad Absoluta (Rug)
→ Coeficiente de pérdidas singulares (K_{ent})
→ Coeficiente de pérdidas singulares (K_{sal})

Ramal de unión				
D (mm)	L (m)	Rug (mm)	K ent	K sal
250	7,5	0,1	250	150

Si se han definido varias estructuras de protección en paralelo, como puede ser el caso de los depósitos hidroneumáticos, cada una de estas estructuras tendrá su propio ramal de unión con las características que acabamos de indicar. En este caso las pérdidas singulares se evalúan mediante las expresiones (19) y (20) con el caudal propio de cada estructura.

IMPORTANTE: Los coeficientes de pérdidas para flujo de entrada y de salida de las estructuras de protección, se deberán evaluar a partir del coeficiente de pérdidas de cada uno de los accesorios del ramal de unión atravesados por el flujo en uno y otro sentido. En su caso, estos coeficientes deberán incluir las pérdidas en la boca de conexión del calderín con el ramal de unión.

3.7.4.2 Activación o desactivación de estructuras de protección

Una estructura de protección puede estar activada o desactivada. En caso de que la estructura esté activada su existencia se tiene en cuenta en la simulación del transitorio, mientras que si está desactivada no se tiene en cuenta y es como si no existiese.

- *Estructura de protección activa.* La estructura de protección puede estar activada (Si) o desactivada (No). En la simulación esta estructura de protección solamente se tiene en cuenta si está activada.
- *Ir a Calderín – Datos básicos* → Activar / Desactivar
- *Ir a Chimenea – Datos básicos* → Activar / Desactivar
- *Ir a Tanque Unidireccional – Datos básicos* → Activar / Desactivar

Calderines - Datos básicos				
Nombre	Nudo	Zu (m)	Num	Act
Cald	N17	21	4	<input checked="" type="checkbox"/>

Chimeneas - Datos básicos							
Nombre	Nudo	Zu (m)	Act	Tipo	D (m)	Rug (mm)	Zb (m)
ChSC	N8	21	<input checked="" type="checkbox"/>	SC ▼	6,5	0,3	22,5



Tanque Unidireccional - Datos básicos							
Nombre	Nudo	Zu (m)	Act	D (m)	Rug (mm)	Zb (m)	Niv.max (m)
TUnid	N8	21	<input checked="" type="checkbox"/>	4	0,3	22,5	5

IMPORTANTE: Hay que tener en cuenta que si la estructura de protección se conecta al extremo final de una tubería que no dispone de más conexiones, en caso de que se desactive dicha estructura la tubería de conexión se trata como un conducto cuyo nudo extremo no se conecta con ningún elemento. Ello provoca un mensaje de error en los datos iniciales que impide el cálculo del régimen permanente.

En estos casos, la desactivación de la estructura de protección se puede conseguir dando a los coeficientes de pérdidas para flujo de entrada y de salida de la estructura un valor muy elevado (por ejemplo, 10^{25}), lo que hace que estos flujos sean nulos. Ello originará reflexiones de las ondas de presión en el extremo final de la tubería donde se conecta la estructura de protección, por lo que habrá que considerar si al desactivar la estructura se hace necesario eliminar dicha tubería.

3.8 Ley de caudal o de altura

Corresponde a la imposición de una ley de comportamiento determinada en un nudo donde solamente confluyen tuberías. Esta ley puede ser:

-  Ley de caudal
-  Ley de altura

3.8.1 Ley de caudal

Con esta ley se impone una salida de caudal determinada por el nudo correspondiente. Caben las siguientes posibilidades:

- ❖ Por ley de Q
- ❖ Por presión
- ❖ Por tabla

En todos los casos se introducirá como dato la cota de la ley,

- Cota. Es la cota a la que se sitúa la ley, la misma que la del nudo de conexión.

La manera de imponer el tipo de ley es la siguiente:

- *Ir a Ley – Datos básicos* → Cota (Z)

- Ir a Ley – Datos básicos → Tipo → Q

Ley - Datos generales				
Nombre	Nudo	Z (m)	Tipo	Imp Q
L1	N2	45	Q	Por ley de Q

3.8.1.1 Ley de caudal por ley de Q

La imposición del caudal por ley fuerza a que el caudal que sale por el nudo siga una ley de la forma

$$Q(t) = A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + E\right) \quad (21)$$

con t en segundos, E en grados y Q en l/s.

Al forzar el caudal de salida, el programa calcula en el nudo la altura piezométrica requerida para que salga este caudal. Para este caso los datos necesarios son:

- *Coeficiente A.* Es el coeficiente de t^2 en la parte polinómica de la ley de Q.
- *Coeficiente B.* Es el coeficiente de t en la parte polinómica de la ley de Q.
- *Término independiente C.* Es el término independiente en la parte polinómica de la ley de Q.
- *Coeficiente D.* Es el coeficiente de la parte senoidal de la ley de Q.
- *Periodo T.* Es el período de la parte senoidal de la ley de Q.
- *Ángulo de fase E.* Es el ángulo de fase de la parte senoidal de la ley de Q.

Estos datos se introducen de la siguiente manera:

- Ir a Ley – Datos básicos → Imposición de caudal (Imp Q) → Por ley de Q

Ley - Datos generales				
Nombre	Nudo	Z (m)	Tipo	Imp Q
L1	N2	45	Q	Por ley de Q

- Ir a Ley Q o H = $A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / T + E)$ → Coeficiente (A)
- Ir a Ley Q o H = $A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / T + E)$ → Coeficiente (B)
- Ir a Ley Q o H = $A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / T + E)$ → Coeficiente (C)
- Ir a Ley Q o H = $A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / T + E)$ → Coeficiente (D)

- Ir a Ley Q o H = $A*t^2 + B*t + C + D*\text{sen}(2*Pi*t/T + E)$ → Periodo (T)
- Ir a Ley Q o H = $A*t^2 + B*t + C + D*\text{sen}(2*Pi*t/T + E)$ → Ángulo fase (E)

Ley Q o H = $A*t^2 + B*t + C + D*\text{sen}(2*Pi*t/T + E)$					
A	B	C	D	T	E
-0,0025	0,03	200	100	30	60

- *Limitación.* Permite limitar los valores extremos de caudal proporcionados por la ley de Q. Las posibilidades son:

- ❖ Sin limitaciones
- ❖ Corta por abajo
- ❖ Corta por arriba
- ❖ Corta arriba y abajo

En caso de corte abajo y/o arriba, se introducirán los correspondientes valores de corte como valor mínimo y/o máximo.

- Ir a Comportamiento de la ley → Limitación: Seleccionar el tipo de limitación requerida
- Ir a Comportamiento de la ley → Limitación → Corta por abajo → Mínimo
- Ir a Comportamiento de la ley → Limitación → Corta por arriba → Máximo
- Ir a Comportamiento de la ley → Limitación → Corta por arriba y abajo → Máximo → Mínimo

Comportamiento de la ley		
Limitación	Mínimo	Máximo
Corta por abajo	0	
Sin limitaciones		
Corta por abajo		
Corta por arriba		
Corta arriba y abajo		

3.8.1.2 Ley de caudal por presión

En este caso se admite que en el nudo existe un elemento que causa pérdidas de carga, de manera que se descarga un caudal a la atmósfera siguiendo la ley

$$P_N(t) = K Q_N(t) |Q_N(t)| \quad (22)$$

donde $P_N(t)$ es la presión en el nudo, K el coeficiente de pérdidas del elemento que controla el caudal, y $Q_N(t)$ el caudal descargado por el nudo. El coeficiente K será constante durante toda la simulación, y se evalúa a partir del caudal inicial

impuesto y de la presión del nudo de salida en condiciones de régimen permanente. El dato requerido será:

- Ir a Ley – Datos generales → Imposición de caudal (Imp Q) → Por presión en nudo

Ley - Datos generales					
Nombre	Nudo	Z (m)	Tipo	Imp Q	
L1	N2	45	Q	Por presión en nudo	
				Por ley de Q	
				Por presión en nudo	
				Por tabla	

- Valor de Q. Es el caudal que saldrá por el nudo en condiciones iniciales.

- Ir a Ley – Datos generales → Valores Q

Ley - Datos básicos					
Nombre	Nudo	Z (m)	Tipo	Imp Q	Q imp (l/s)
L1	N2	45	Q	Por presión en nudo	62,5

IMPORTANTE: En los instantes en que la presión P_N se haga negativa, el caudal será también negativo, lo cual indica que en esas condiciones entrará caudal al sistema.

3.8.1.3 Ley de caudal por tabla

Se impone una ley de caudal tabulada. Para cada punto i los datos a introducir son:

- Instante t_i . Es el instante de tiempo correspondiente al punto i .
- Caudal de salida Q_i . Es el caudal que sale por el nudo en el instante t_i . En caso de caudal entrante, su valor será negativo.

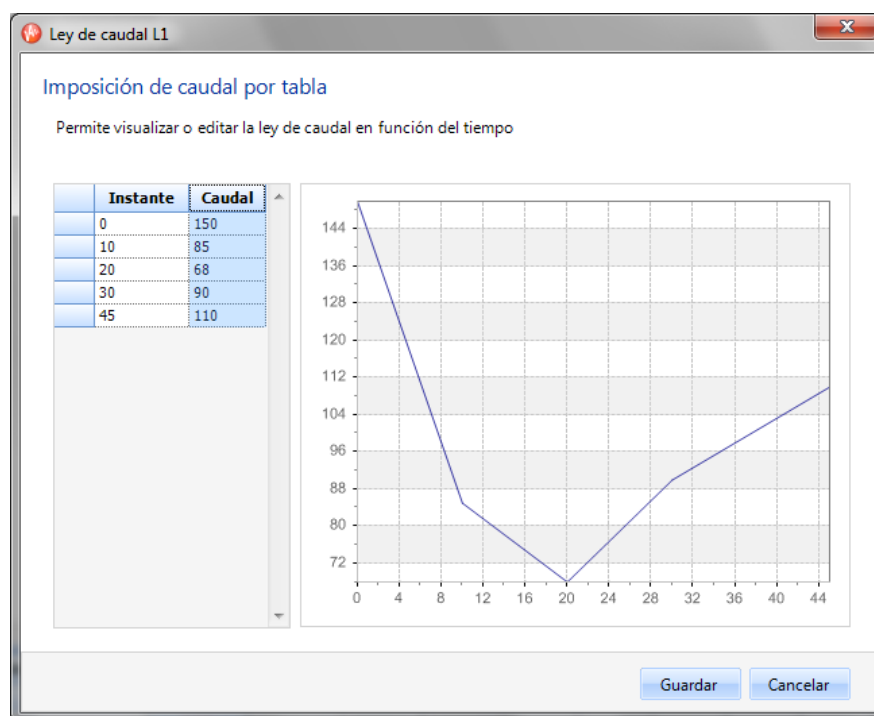
La maniobra de la ley se ingresa de la siguiente manera:

- Ir a Ley – Datos generales → Imposición de caudal (Imp Q) → Por tabla

Ley - Datos generales					
Nombre	Nudo	Z (m)	Tipo	Imp Q	
L1	N2	45	Q	Por tabla	

- Ir a Ley – Datos generales → Valores de Q: mediante este botón, es posible ingresar la maniobra de la ley

Ley - Datos generales					
Nombre	Nudo	Z (m)	Tipo	Imp Q	Valores Q ▲
L1	N2	45	Q ▼	Por tabla ▼	



3.8.2 Ley de altura

Con esta ley se impone una altura piezométrica determinada en un nudo donde solamente confluyan tuberías. Al imponer la altura piezométrica, el programa calcula el caudal que sale por el nudo en esas condiciones.

Se impone una ley de altura en el campo Tipo:

- Ir a Ley – Datos generales → Tipo → Altura (H)

Ley - Datos básicos					
Nombre	Nudo	Z (m)	Tipo	Imp Q	Q imp (l/s) ▲
L2	N2	90	H ▼	▼	
			Q		
			H		

Para las leyes de altura se dispone de dos posibilidades,

- ✚ Sin depósito asociado
- ✚ Con depósito asociado

Para asociar un depósito a una ley de H, al cual se vierte el caudal que sale por el nudo, se debe:

- Ir a vertido → Depósito → Seleccionar el depósito al cual se desea verter.

Vertido		
Depósito	Zv (m)	Zona
D4	90	

D1		
D3		
D4		

NOTA: La manera de asignarle a una ley que no vierta a ningún depósito, es seleccionando la línea punteada.

3.8.2.1 Ley de altura sin depósito asociado

En caso de que no haya depósito asociado, la función que impone la altura piezométrica en el nudo es del tipo

$$H(t) = A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + E\right) \quad (23)$$

con t en segundos, E en grados y H en m.

En este caso se requieren los siguientes datos:

- *Coeficiente A.* Es el coeficiente de t^2 en la parte polinómica de la ley de H.
- *Coeficiente B.* Es el coeficiente de t en la parte polinómica de la ley de H.
- *Término independiente C.* Es el término independiente en la parte polinómica de la ley de H.
- *Coeficiente D.* Es el coeficiente de la parte senoidal de la ley de H.
- *Periodo T.* Es el período de la parte senoidal de la ley de H.
- *Ángulo de fase E.* Es el ángulo de fase de la parte senoidal de la ley de H.

Estos datos se introducen de la siguiente manera:

- Ir a Ley Q o H = $A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / T + E)$ → Coeficiente (A)
- Ir a Ley Q o H = $A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / T + E)$ → Coeficiente (B)
- Ir a Ley Q o H = $A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / T + E)$ → Coeficiente (C)
- Ir a Ley Q o H = $A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / T + E)$ → Coeficiente (D)
- Ir a Ley Q o H = $A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / T + E)$ → Periodo (T)
- Ir a Ley Q o H = $A \cdot t^2 + B \cdot t + C + D \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t / T + E)$ → Ángulo fase (E)

Ley Q o H = A*t^2 + B*t + C + D*sen(2*Pi*t/T+E)					
A	B	C	D	T	E
0	0	90	45	150	0

- *Limitación.* Permite limitar los valores extremos de altura piezométrica proporcionados por la ley de H. Las posibilidades son:

- ❖ Sin limitaciones
- ❖ Corta por abajo
- ❖ Corta por arriba
- ❖ Corta arriba y abajo

En caso de corte abajo y/o arriba, se introducirán los correspondientes valores de corte como valor mínimo y/o máximo.

Estos datos se introducen igual como se mostro en la ley de caudales.

IMPORTANTE: Al fijar la ley de alturas el programa calcula el correspondiente caudal de nudo, el cual puede ser positivo (caudal saliente del sistema) o negativo (caudal entrante al sistema). Ello debería corresponder a la acción de un subsistema, que no se tiene en cuenta en la simulación, pero que impone la ley de altura piezométrica representada por la expresión (23). Este subsistema sería el que recibe, o aporta, el caudal de nudo.

3.8.2.2 Ley de altura con depósito asociado

En caso de que la ley de altura esté conectada al nudo extremo de una única tubería, dicha ley puede disponer de un depósito asociado al cual se vierta, a presión atmosférica, el caudal transportado por la tubería. El programa calcula, pues, el caudal de salida manteniendo la altura piezométrica del nudo igual a su cota, y considerando dicho caudal como caudal entrante al depósito por su parte superior.

Si durante la simulación del transitorio el caudal se salida por la ley de altura resulta negativo, ello quiere decir que el caudal retrocede por la tubería que conecta con la ley. A partir de este momento el retroceso del caudal genera una columna de aire en el extremo de la tubería, la cual aumentará o disminuirá de longitud dependiendo del movimiento del agua en la misma. En todos los puntos

de la tubería donde exista columna de aire se admitirá caudal nulo y presión atmosférica, entrando y saliendo el aire sin dificultad a través de la ley de alturas. En el momento en que se termine de expulsar toda la columna de aire, se restablecerá el caudal de salida a través de la ley de alturas. Si la columna de aire llega en algún momento a ocupar toda la tubería el programa detiene el proceso de simulación, pues no se puede evaluar el movimiento del aire en los elementos que conecten con la tubería en el nudo contrario al de la ley.

Para este caso los datos necesarios son:

- *Depósito*. Es el depósito asociado a la ley de alturas. Como depósito asociado se puede considerar cualquiera de los depósitos del sistema. El programa proporciona, a título informativo, la cota a la que se vierte al depósito, la cual es la misma que la del nudo de conexión de la ley.
 - *Zona*. Para un depósito con división y vertedero asociado a la ley, se indicará si la zona de vertido es la inicial o la final.
- *Ir a vertido* → *Depósito* → *Seleccionar el depósito al cual se desea verter*
 - *Ir a vertido* → *Zona* → *Inicial*
→ *Final*

Vertido		
Depósito	Zv (m)	Zona
DpDvVt ▾	90	Inicial ▾
		Inicial
		Final

3.9 Turbinas Francis

El programa permite simular el comportamiento transitorio de turbinas Francis, instaladas en el sistema, cuando se produce una maniobra de regulación o la desconexión brusca del generador. Para estas turbinas se utilizan las curvas características universales de Suter, las cuales se obtienen a partir de los ensayos experimentales de Martin llevados a cabo sobre una bomba-turbina Francis de diámetro 344 mm y apertura máxima del distribuidor 43'70 mm. Estas curvas se obtuvieron para 14 aperturas del distribuidor con $H > 0$, y para 4 aperturas del distribuidor con la bomba-turbina operando en los cuatro cuadrantes (Andrade, J.G.P. y Martin, C.S. *Interpolation between guide vane openings of pump-turbine characteristics represented by Fourier series*. 16th Symposium of the IAHR -

Section on Hydraulic Machinery and Cavitation. Sao Paulo, Brasil, septiembre 1992).

Una turbina debe funcionar manteniendo la velocidad de rotación constante para cualquier estado de carga. De esta manera, el regulador de la turbina accionará los álabes del distribuidor, aumentando el caudal turbinado cuando aumenta el par resistente de la turbina (aumentos de carga), o disminuyendo el caudal turbinado cuando disminuye el par resistente de la turbina (disminuciones de carga). Con ello lo que se pretende es igualar el par motor al par resistente para cualquier estado de carga, pero manteniendo la velocidad de rotación constante. De esta manera será constante también la frecuencia de la corriente alterna producida.

La regulación del funcionamiento de la turbina se realiza en el programa por medio de un regulador PID realimentado. Si llamamos:

X = Apertura del distribuidor en el instante de cálculo actual

X_0 = Apertura del distribuidor en el instante de cálculo anterior

$X_{m\acute{a}x}$ = Apertura máxima del distribuidor

N = Velocidad de rotación de la turbina en el instante de cálculo actual

N_{ref} = Velocidad de rotación de referencia, a la cual se obtiene la frecuencia deseada

e = Error relativo entre la velocidad de rotación deseada y la obtenida = $(N - N_{ref})/N_{ref}$

u = Respuesta del regulador para la corrección del error = $(X - X_0)/X_{m\acute{a}x}$

la expresión que define el funcionamiento del regulador PID realimentado es la siguiente

$$u(t) = - \left[K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} + K_{ra} \int u(t) dt \right] \quad (24)$$

O bien, derivando respecto del tiempo (DIN-4321),

$$K_{ra} u(t) + \frac{du(t)}{dt} = - \left[K_p \frac{de(t)}{dt} + K_i e(t) + K_d \frac{d^2 e(t)}{dt^2} \right] \quad (25)$$

siendo ésta la expresión utilizada en el programa. En ella tenemos:

K_p = Constante proporcional del regulador, sin unidades

K_i = Constante integrativa del regulador, con unidades de s^{-1}

K_d = Constante derivativa del regulador, con unidades de s

K_{ra} = Constante de realimentación del regulador, con unidades de s^{-1}

Con esta formulación, cualquier acción parcial del regulador se puede anular haciendo nula su constante.

3.9.1 Datos generales de las turbinas

Para cada turbina, los datos generales solicitados por el programa son:

- *Cota Z.* Es la cota a la que se encuentra la turbina, la misma para los nudos inicial y final.
- *Diámetro.* Es el diámetro nominal de la turbina. Este dato no interviene en la simulación, siendo sólo de carácter informativo.
- *Inercia.* Es el momento de inercia de las masas rodantes de la turbina, e incluye el rodete, el eje y el rotor del generador eléctrico.
- *N de régimen, o velocidad de rotación de referencia.* Es la velocidad de rotación a la cual se obtiene el valor deseado de la frecuencia de la corriente alterna producida. Esta velocidad de rotación deberá mantenerse constante por acción del regulador.
- *Apertura inicial del distribuidor.* Es la apertura del distribuidor en condiciones de régimen permanente.
- *Apertura máxima del distribuidor.* Es la apertura máxima del distribuidor. Las simulaciones se llevan a cabo considerando en todo momento la apertura relativa del distribuidor, y no su valor absoluto.

La manera de asignar estos datos es la siguiente:

- *Ir a Turbinas-Datos básicos* → *Cota de la turbina Z(m)*
- *Ir a Turbinas-Datos básicos* → *Diámetro D(m)*
- *Ir a Turbinas-Datos básicos* → *Inercia (Ton.m²)*
- *Ir a Turbinas-Datos básicos* → *Velocidad de rotación (Nreg)*

Turbinas - Datos básicos						
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	D (m)	I	N reg
Tb1	N1	N2	192	2,7	275	600
Tb2	N3	N4	192	2,7	275	600
Tb3	N5	N6	192	2,7	275	600

- *Ir a Turbinas-Distribuidor* → *Apertura inicial del distribuidor (Ap inic)*
- *Ir a Turbinas- Distribuidor* → *Apertura máxima del distribuidor (Ap max)*

Turbinas - Datos básicos							Distribuidor	
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	D (m)	I	N reg	Ap inic ▼	Ap max
Tb1	N1	N2	192	2,7	275	600	22,3	43,7
Tb2	N3	N4	192	2,7	275	600	22,3	43,7
Tb3	N5	N6	192	2,7	275	600	22,3	43,7

3.9.2 Datos del punto óptimo de funcionamiento de las turbinas

Los datos necesarios para caracterizar la turbina corresponden al punto óptimo de funcionamiento (o punto de rendimiento máximo) a la velocidad de rotación nominal, esto es:

- *Caudal Q_{to}* . Es el caudal turbinado en el punto óptimo de funcionamiento.
- *Altura H_{to}* . Es la altura neta de la turbina en el punto óptimo de funcionamiento.
- *Potencia en el eje P_{ejet0}* . Es la potencia en el eje de la turbina en el punto óptimo de funcionamiento.

Una vez introducidos estos tres valores, el programa muestra para su verificación el rendimiento de la turbina en el punto óptimo de funcionamiento.

- *N nominal*. Es la velocidad de rotación nominal de la turbina, para la cual se obtiene el punto óptimo de funcionamiento.

Para asignar estos valores es necesario:

- Ir a Turbinas - Rendimiento óptimo → Caudal turbinado Q (m^3/s)
- Ir a Turbinas - Rendimiento óptimo → Altura neta H (m)
- Ir a Turbinas - Rendimiento óptimo → Potencia en el eje P (Mw)
- Ir a Turbinas - Rendimiento óptimo → Velocidad de rotación N_{nom} (rpm)

Rendimiento óptimo				
Q	H	P	Rend	N nom
42,24	400	141,5	85,37	600
42,24	400	141,5	85,37	600
42,24	400	141,5	85,37	600

3.9.3 Variación de la carga

Representa la evolución temporal de la carga impuesta a la turbina, de manera que el regulador intentará mantener constante la velocidad de rotación de referencia sea cual sea esta evolución.

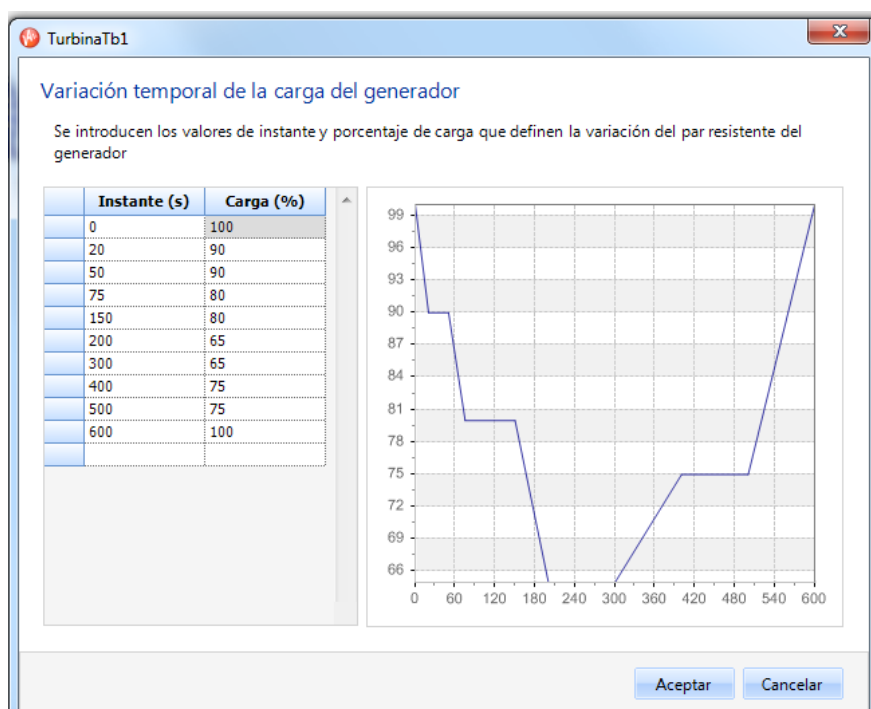
Para cada una de las turbinas se introducen en forma tabulada los valores de instante y porcentaje de carga que definen la variación de la carga del generador. Los datos requeridos son:

- *Instante t_i .* Es el instante de tiempo correspondiente al punto i .
- *Carga C_i respecto de régimen.* Es la potencia a proporcionar por la turbina en el instante i , o el par resistente a vencer, en porcentaje respecto de la potencia o par resistente de régimen.

La variación de la carga se asigna de la siguiente manera:

- *Ir a Turbinas – Variación de la carga* → Pulsando en el botón, se despliega el formulario para asignar la variación temporal de la carga del generador

Rendimiento óptimo					Variación de la carga
Q	H	P	Rend	N nom	
42,24	400	141,5	85,37	600	
42,24	400	141,5	85,37	600	
42,24	400	141,5	85,37	600	



3.9.4 Cierre del distribuidor por desconexión de la turbina

Si durante las maniobras de regulación la carga en el eje de la turbina disminuye por debajo de un determinado valor, el generador de la turbina se desconectará de la red para evitar el funcionamiento a carga parcial excesivamente baja. En ese momento el distribuidor iniciará una maniobra de cierre rápido para evitar el embalamiento de la turbina.

Para simular este cierre, los datos requeridos son:

- *Carga mínima para desconexión.* Es la carga mínima que provocará la desconexión de la turbina, en porcentaje respecto de la potencia de régimen.

En Allievi se asigna la carga mínima de la siguiente manera:

- Ir a Turbinas – Desconexión → Carga mínima (Cmin)

Rendimiento óptimo					Variación de la carga	Desconexión	
Q ▼	H	P	Rend	N nom		Cmin	Maniobra
42,24	400	141,5	85,37	600		60	
42,24	400	141,5	85,37	600		60	
42,24	400	141,5	85,37	600		60	

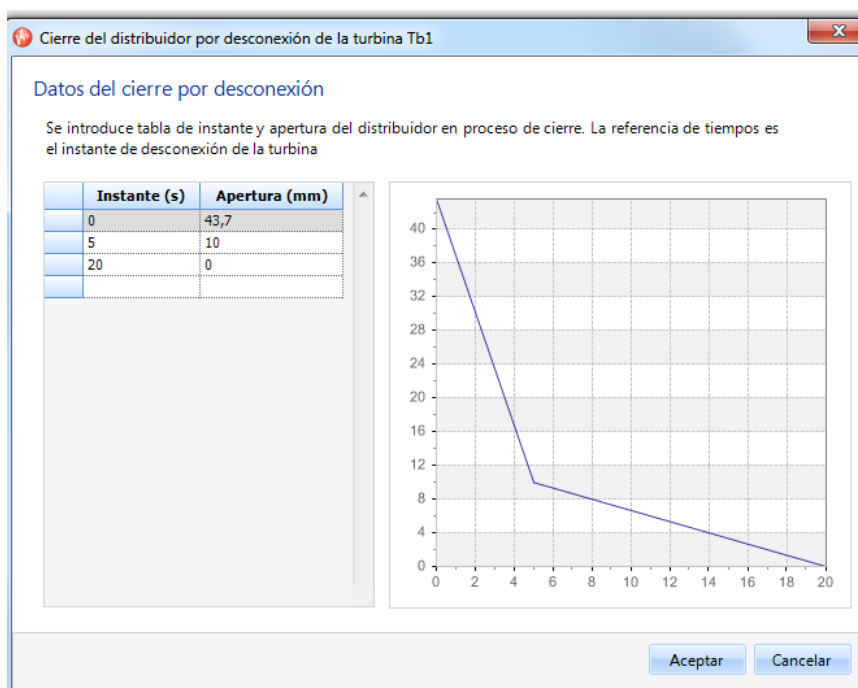
Se introducen de forma tabulada los valores de instante y apertura del distribuidor en proceso de cierre. La referencia de tiempos es el instante de desconexión de la turbina, a partir de la apertura inicial del distribuidor. Estos valores son:

- *Instante t_i .* Es el instante de tiempo correspondiente al punto i de la maniobra de cierre del distribuidor.
- *Apertura del distribuidor A_{pi} .* Es la apertura del distribuidor en el instante i , en proceso de cierre para evitar el embalamiento de la turbina.

El cierre del distribuidor se producirá según esta ley a partir del grado de apertura que tenga el distribuidor en el momento de la desconexión.

Los valores de instante y apertura del distribuidor en el proceso de cierre, se asignan en el siguiente formulario:

- *Ir a Turbinas – Desconexión* → Pulsando el botón de Maniobra, se despliega el formulario para asignar los valores de instante en segundos y la apertura en milímetros.



3.9.5 Datos del regulador de las turbinas

Para el regulador PID realimentado de cada turbina, los datos requeridos son:

- Constante proporcional K_p . Constante proporcional del regulador, sin unidades.
- Constante derivativa K_d . Constante derivativa del regulador, en s.
- Constante integrativa K_i . Constante integrativa del regulador, en s^{-1} .
- Constante de realimentación K_{ra} . Constante de realimentación del regulador, en s^{-1} . Esta constante puede ser negativa.

Los datos del regulador PID se asignan de la siguiente manera:

- *Ir a Turbinas – Regulación PID* → Constante de proporcionalidad (K_p)
- *Ir a Turbinas – Regulación PID* → Constante integrativa (K_i)
- *Ir a Turbinas – Regulación PID* → Constante derivativa (K_d)
- *Ir a Turbinas – Regulación PID* → Constante realimentación (K_{ra})

Desconexión		Regulación PID			
Cmin	Maniobra	Kp	Ki	Kd	Kra
60		1,45	0,1381	0,29	-10
60		1,45	0,1381	0,29	-10
60		1,45	0,1381	0,29	-10

NOTA: Para fijar el valor de las constantes del regulador es aconsejable utilizar el método de Ziegler y Nichols. Este método proporciona los valores de las constantes de un regulador tipo PI o PID, con constante de realimentación nula. En algunas ocasiones los valores proporcionados por este método se ajustan manualmente para mejorar las características de la regulación.

3.10 Conductos en lámina libre

El programa ALLIEVI permite simular en un mismo sistema el funcionamiento en régimen transitorio de conductos a presión y conductos en lámina libre, interconectándose ambos tipos de conductos mediante depósitos.

IMPORTANTE: En toda la simulación el régimen de funcionamiento de los conductos en lámina libre será subcrítico, excepto en caso de caída libre a un depósito por el extremo del conducto donde se establecerá un régimen crítico.

Los conductos en lámina libre, o canales, solamente se pueden conectar a nudos de depósito o a nudos donde se conecten otros canales. En caso de conectar a depósito, en el nudo de conexión solamente habrá el depósito y el canal. En caso de conectar canales entre sí, en el nudo de conexión solamente habrá canales.

Para los conductos en lámina libre, los datos necesarios son:

- *Cota de los nudos.* Es la cota de los nudos inicial y final del canal. En conexión con depósitos, esta cota coincidirá con la cota de solera del depósito.
- *Longitud.* Es la longitud del canal, supuesto recto y de pendiente uniforme.
- *Coeficiente de Manning.* Es el coeficiente de Manning que representa la rugosidad de las paredes interiores del canal. Valores orientativos oscilan entre 0'014 y 0'016 para canales de hormigón.

- Ir a Canales – Datos generales → Cota inicial (Zi)
- Ir a Canales – Datos generales → Cota final (Zf)
- Ir a Canales – Datos generales → Longitud (L)
- Ir a Canales – Datos generales → Coeficiente de Manning (n)

Canales - Datos generales						
Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	L (m)	n
Canal1	N6	95	N19	94	1250	0,014





- *Cotas de solera*. Son las cotas de solera en los extremos inicial y final del canal. En caso de conexión con depósito, la cota de solera del canal será igual o mayor que la cota del nudo de conexión. En caso de mayor, la cota de solera del canal estaría por arriba de la cota de solera del depósito. En caso de nudo de conexión de canales, en este extremo todos los canales tendrán la misma cota de solera, que será igual a la cota del nudo.
- Cota de solera → Cota inicial (Zsi)
- Cota de solera → Cota final (Zsf)

Cota de solera	
Zsi (m)	Zsf (m)
95	94,375

La longitud del canal, junto con la cota de solera de los extremos inicial y final, definirá la pendiente de solera del canal según la expresión

$$s_0(\%) = 100 \frac{Z_{si} - Z_{sf}}{L} \quad (26)$$

- *Tipo de sección*. Se puede optar por cuatro tipos de secciones:

-  Rectangular
-  Trapecial
-  Circular
-  Cualquiera

3.10.1 Canal de sección rectangular

- *Ancho del canal*. Es el ancho del canal, constante en toda su sección transversal.

- *Calado máximo.* Es el calado máximo del canal, a partir del cual se produce desbordamiento y se detiene la simulación.
- *Ir a Canales – Sección → Tipo → Rectangular*
- *Ir a Sección → Ancho del canal (b)*
- *Ir a Sección → Calado máximo (Y max)*

Sección					
Tipo	b (m)	D (m)	Ymax (m)	Inclinación	Sección
Rectangula ▼	2,75		3		

3.10.2 Canal de sección trapezoidal

- *Ancho de solera del canal.* Es el ancho de solera del canal.
- *Calado máximo.* Es el calado máximo del canal, a partir del cual se produce desbordamiento y se detiene la simulación.
- *Inclinación de las paredes laterales, en grados.* Es el ángulo de inclinación de las paredes laterales del canal respecto del plano horizontal, medido en la parte exterior del canal.
- *Ir a Sección → Tipo → Trapezoidal*
- *Ir a Sección → Ancho del canal (b)*
- *Ir a Sección → Calado máximo (Ymax)*
- *Ir a Sección → Inclinación*

Sección					
Tipo	b (m)	D (m)	Ymax (m)	Inclinación	Sección
Trapezoidal ▼	2		3	60	

3.10.3 Canal de sección circular

- *Diámetro del canal.* Es el diámetro interior del conducto circular. Se indica el calado máximo que será igual al diámetro del conducto, a partir del cual dicho conducto entra en carga y se detiene la simulación.
- *Ir a Sección → Tipo → Circular*
- *Ir a Sección → Diámetro del canal (D)*

Sección					
Tipo	b (m)	D (m)	Ymax (m)	Inclinación	Sección
Circular		2,5	2,5		

3.10.4 Canal de sección cualquiera

Los datos de la sección del canal se darán por tablas a calados crecientes, siendo estos datos para el punto i :

- Calado y_i . Es el calado correspondiente al punto i .
- Perímetro p_i . Es el perímetro mojado de la sección transversal del conducto por debajo del calado y_i .
- Sección A_i . Es el área de la sección transversal del conducto por debajo del calado y_i .
- Ir a Sección → Tipo → Cualquiera
- Ir a Sección → Sección: Aquí el usuario introduce el perímetro y la sección para cada uno de los calados.

Sección					
Tipo	b (m)	D (m)	Ymax (m)	Inclinación	Sección
Cualquiera					(!)

Canal Canal1

Sección del canal

Se introducen los puntos que definen la sección del canal.

Calado (m)	Perímetro (m)	Sección (m ²)
0	0,75	0
0,1	0,9809	0,0808
0,2	1,2119	0,1731
0,3	1,4428	0,277
0,4	1,6738	0,3924
0,5	1,9047	0,5193
0,6	2,1356	0,6578
0,7	2,3666	0,8079
0,8	2,5975	0,9695
0,9	2,8285	1,1427
1	3,0594	1,3274
1,001	4,5614	1,3308
2	6,5594	4,7321
3	8,5594	8,1368

Aceptar Cancelar

3.10.5 Datos para canal con caudal inicial nulo

Al igual que en conductos a presión, puede darse el caso de que en régimen permanente el caudal circulante por el canal sea nulo. Por ello, y para evitar la necesidad de gran número de iteraciones para calcular el régimen permanente, se puede asignar directamente caudal inicial nulo a aquellos canales en los que se dé esta circunstancia. Así, para cada canal con caudal inicial nulo los datos necesarios son:

- *Q inicial nulo (Si – No)*. Indica si se va a imponer, o no, caudal inicial nulo en el canal.
- *H impuesta*. En caso de imponer caudal inicial nulo, este dato corresponde a la cota inicial del agua en todo el canal. En canales con caudal inicial nulo interconectados, esta cota deberá ser la misma en todos ellos. A su vez, la misma cota se impondrá al nivel inicial del agua en los depósitos conectados con estos canales.

Se puede imponer también una cota inicial del agua en el canal de valor intermedio entre la cota de solera de ambos extremos del canal. En este caso el nivel inicial del agua en el depósito superior deberá estar por debajo de la cota de solera de la sección inicial del canal, y en condiciones de régimen permanente la parte superior del canal estará vacía.

- *Ir a Caudal nulo* → $Q_{in}=0$ → Activar/ desactivar
- *Ir a Caudal nulo* → H_{Imp}

Caudal inicial nulo	
$Q_{in}=0$	$H_{Imp} \text{ (m)}$
<input checked="" type="checkbox"/>	94,8

IMPORTANTE: Hay que tener mucho cuidado con estos datos, pues cuando se indica caudal nulo por un canal el programa calcula el régimen permanente asignando este caudal a dicho canal, así como el calado correspondiente a la cota del agua que se ha introducido como dato. El régimen permanente obtenido será erróneo si en realidad no se van a dar estas circunstancias, como sería el caso, por ejemplo, de que la cota inicial del agua en los depósitos conectados a estos canales sea incompatible con la cota del agua en los mismos a caudal nulo. En caso de duda es mejor no asignar este tipo de datos.

4. Configuración de un proyecto nuevo en ALLIEVI

Al declarar un proyecto nuevo, ALLIEVI le permitirá al usuario definir y guardar información que considere útil, como es el caso del título, el Ingeniero responsable, la fecha de creación, el tamaño del papel; entre otros. El objetivo es facilitar una mayor organización de los proyectos creados.

Nuevo proyecto de Allievi

Seleccione las opciones del proyecto

Permite definir el título del proyecto, el ingeniero, la fecha, el tamaño de papel de dibujo, etc...

Título: Proyecto Transitorio

Responsable: Instituto Tecnológico del Agua

Fecha: jueves, 01 de julio de 2010

Comentarios: Rotura en tubería principal debido a la sobrepresión generada al cierre de una válvul

Tamaño del papel: A4

☒ Apaisado ☐ Vertical

Tamaño personalizado

Ancho: 297 mm

Largo: 210 mm

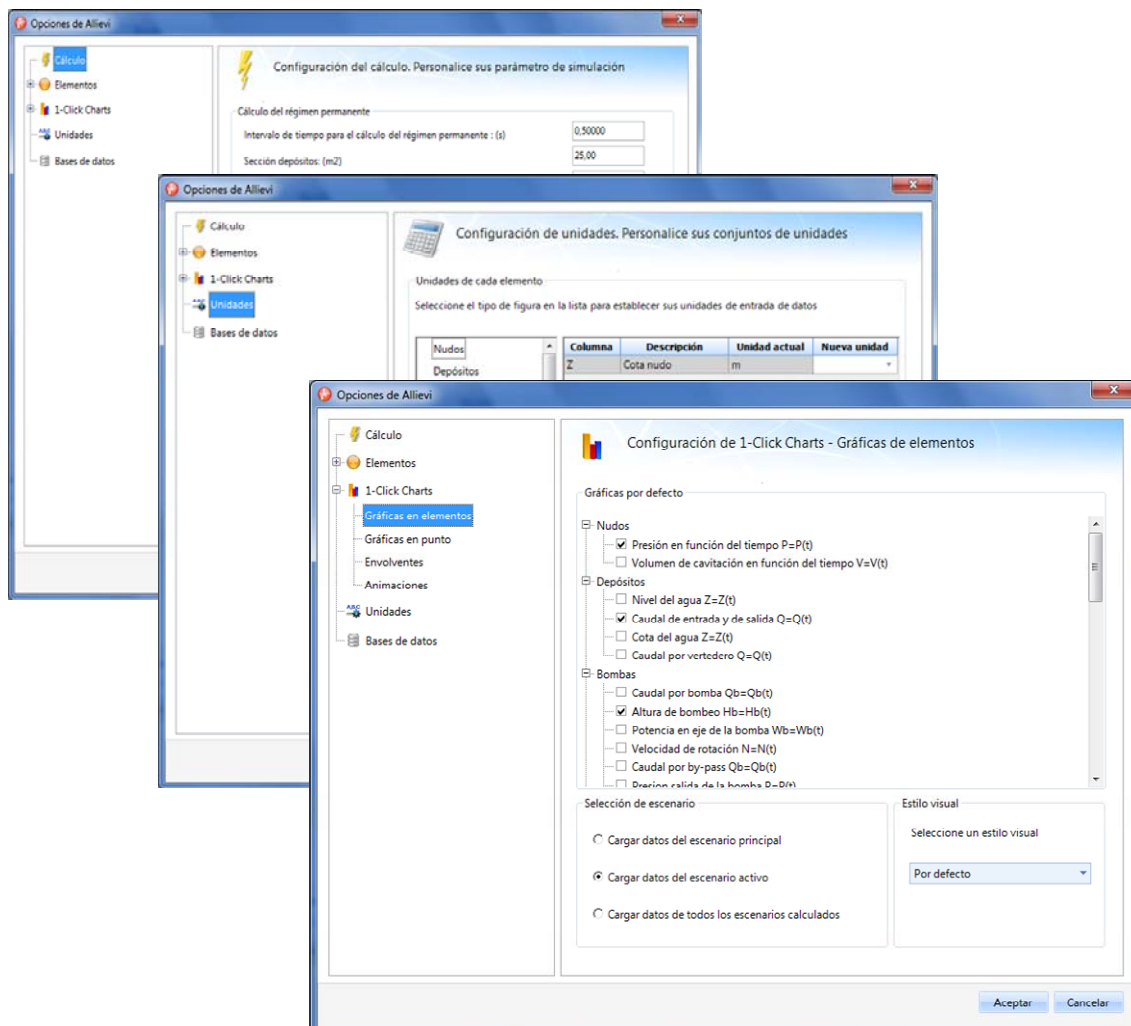
Aceptar Cancelar

4.1 Configuración de las opciones del programa

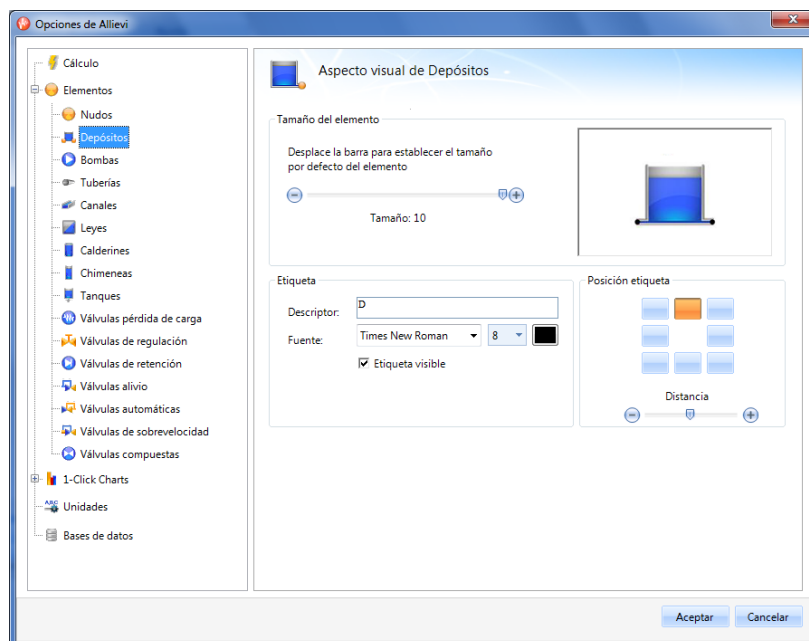
ALLIEVI permite al usuario establecer varias opciones del programa. Estas opciones pueden cambiarse tanto para el proyecto actual como para todos los proyectos realizados en ALLIEVI.

La manera de modificar dichas opciones en ALLIEVI es la siguiente:

- Vaya a Proyecto → Opciones Proyecto → Opciones de ALLIEVI → Cálculo → Configuración del cálculo. Es posible realizar algún cambio en los parámetros (intervalo de tiempo de cálculo en conductos a presión y lamina libre, presión atmosférica, aceleración de la gravedad, cálculos con o sin cavitación, entre otros) necesarios para la simulación del transitorio.
- Vaya a Proyecto → Opciones Proyecto → Opciones de ALLIEVI → Unidades: El usuario puede seleccionar el sistema de unidades en el que desea trabajar.
- Vaya a Proyecto → Opciones Proyecto → Opciones de ALLIEVI → 1- Click Charts: El usuario puede configurar por defecto las gráficas que más utilice y tenerlas siempre disponibles en todas las herramientas que ofrece Allievi para la obtención de resultados.



- Vaya a Proyecto → Opciones Proyecto → Opciones de ALLIEVI → Elementos: El usuario puede configurar la manera en la que desea visualizar los elementos.



5. Entorno de trabajo de ALLIEVI

5.1 Herramientas de visualización

ALLIEVI cuenta con múltiples herramientas que le permiten al usuario ajustar el área de trabajo a sus necesidades y/o preferencias. A continuación presentamos la manera de acceder a cada una de ellas.

En primer lugar, la herramienta de ALLIEVI por defecto que permite introducir y poner en modo de edición los elementos, activar ó desactivar herramientas e incluso introducir los datos de la red, es la herramienta selección.

- Ir al menú *Dibujo* → *Herramientas* → *Selección*.

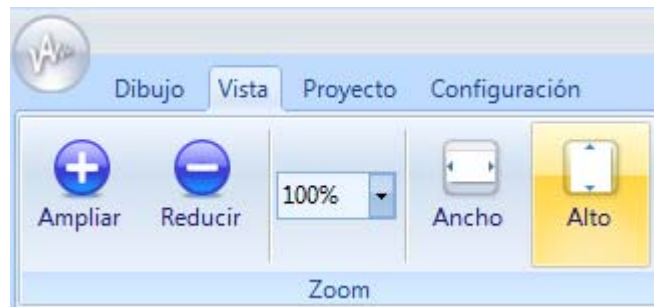


5.1.1 Ajuste al ancho o alto pantalla

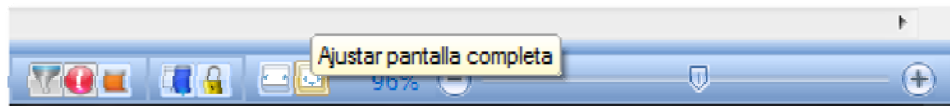
Para cambiar el modo de presentar la pantalla, ALLIEVI brinda dos posibilidades

- Por un lado, desde el menú "VISTA" en la pestaña de zoom, se encuentran los botones "Ancho " o "Alto"



- Ir al menú *Vista* → *Ancho*
→ *Alto*



- Los botones de ajuste de pantalla “Ancho” o “Alto” se podrán encontrar también en la barra de estado, ubicada en la parte inferior del área de trabajo.



5.1.2 Herramientas de Zoom

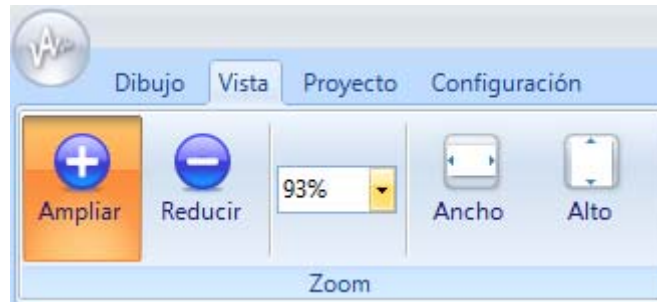
- *La lupa*: Es la herramienta que permite acercar y/o alejar un sector de la red dibujada. Para acceder a ella se debe:
- Ir al menú *Dibujo* → *Herramientas* → *Zoom In* : en caso que se desee ampliar.
- Ir al menú *Dibujo* → *Herramientas* → *Zoom Out* : en caso que se desee alejar.



- *Deslizador*: Es la manera más directa de acercar y alejar el dibujo. Se encuentra en la barra de estado e indica en porcentaje el nivel de zoom que se está realizando.



- *Ampliar/ Reducir:* Otra manera de hacer zoom es mediante los botones (+) y (-) ubicados en el menú vista. En la parte derecha se indica también en porcentaje el nivel de zoom que se está realizando.
- *Ir al menú Vista → Zoom → Ampliar:* en caso que se desee ampliar.
- *Ir al menú Vista → Zoom → Reducir:* en caso que se desee alejar.



- *Mover:* Esta herramienta es el complemento del zoom puesto que en muchas ocasiones, la zona ampliada no corresponde a la zona de interés. Por tal motivo, activando la mano es posible ajustar y ubicar el papel del proyecto en el lugar deseado sin variar el nivel de zoom ni el dibujo de la red.
- *Ir al menú Dibujo → Herramientas → Mover*



5.1.3 Herramientas de Bloqueo

- *Bloqueo de elementos:* Esta herramienta le permite al usuario introducir un elemento varias veces seguidas, siendo especialmente útil cuando se necesitan introducir muchos elementos como por ejemplos los nudos de una red.
- *Ir al menú Dibujo → Herramientas → Bloqueo de elementos*

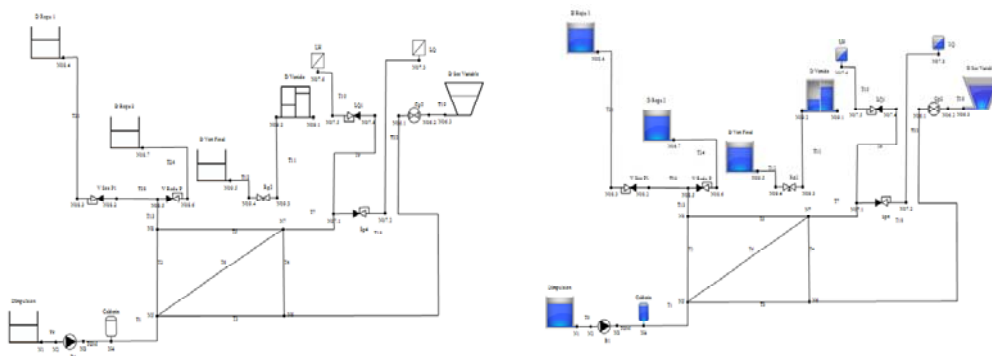


- *Bloqueo del dibujo:* Se encuentra en la barra de estado y su función es evitar que por algún error, se realicen modificaciones involuntarias del dibujo definitivo.



5.1.4 Vista Esquemática

La vista esquemática permite visualizar la red de un modo mucho más sencillo que fácilmente puede ser exportada tanto para presentar en un informe como para imprimirla en el formato deseado.



El usuario dispone dos maneras de acceder a esta:

- *Ir al menú Vista → Etiquetas → Cambiar vista*



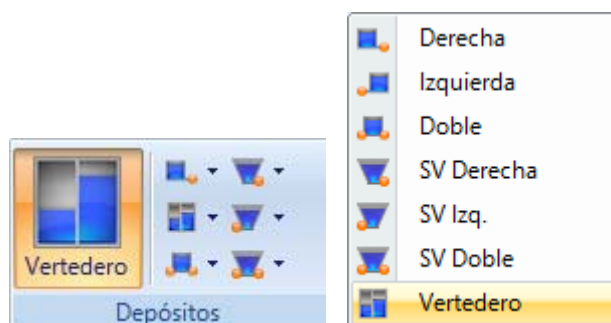
- *Ir a la barra de estado → Vista esquemática*



5.1.5 Diseño del Menú

En el menú Dibujo y como se mencionó anteriormente, se encuentran todos los elementos disponibles para dibujar la red. Cada conjunto de elementos está organizado en una pestaña diseñada de tal manera que al lado izquierdo aparece

el último que ha sido seleccionado por el usuario y a la derecha están las opciones en miniatura del resto de elementos. Cada una de ellas con un desplegable que contiene todos los que están disponibles.



Todo el menú es completamente configurable, permitiéndole al usuario guardar la disposición de los botones que más utilice, teniendo siempre disponible esta combinación de elementos.

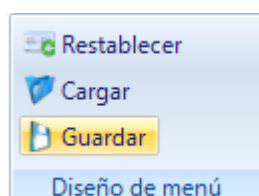


Los pasos para guardar y/o cargar la configuración del menú son los siguientes:

- Ir a *Diseño de menú* → Guardar: Se especifica el nombre y la ruta deseada.
- Ir a *Diseño de menú* → Cargar

Si se desea restaurar la barra de botones que viene con ALLIEVI por defecto, pulsar restablecer.

- Ir a *Diseño de menú* → Restablecer



5.2 Etiquetas

5.2.1 Introducir Etiqueta

ALLIEVI otorga a todos los elementos un nombre por defecto, que se muestra en la etiqueta. Para cambiar el nombre de un elemento, tan solo hay que seleccionarlo

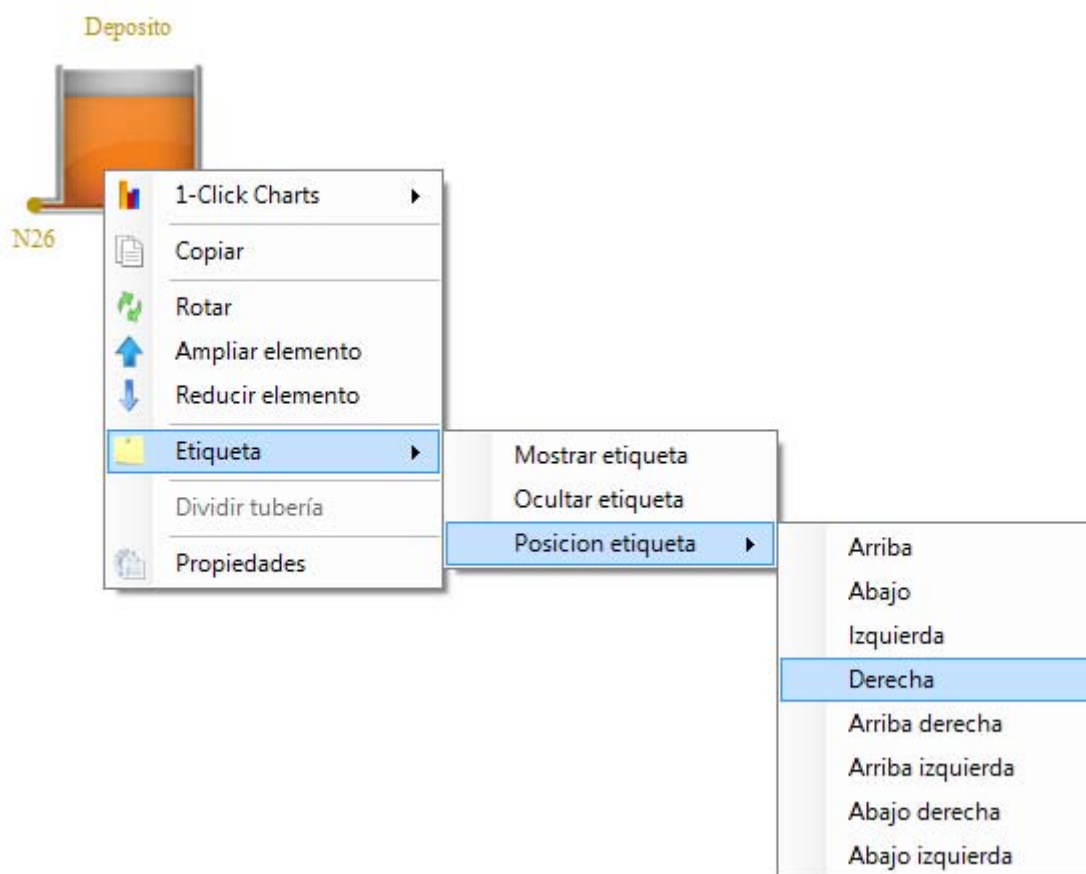
bien sea desde la herramienta selección o directamente desde la ventana de datos y allí mismo se introduce el nuevo nombre.

Depósitos - Datos básicos							
Nombre	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m ²)	Z0 (m)	Zvar
Deposito	N5	N6	95	PD	500	102,27	Si

NOTA: No se recomienda para los nombre emplear acentos o símbolos.

5.2.2 Posición de las Etiquetas

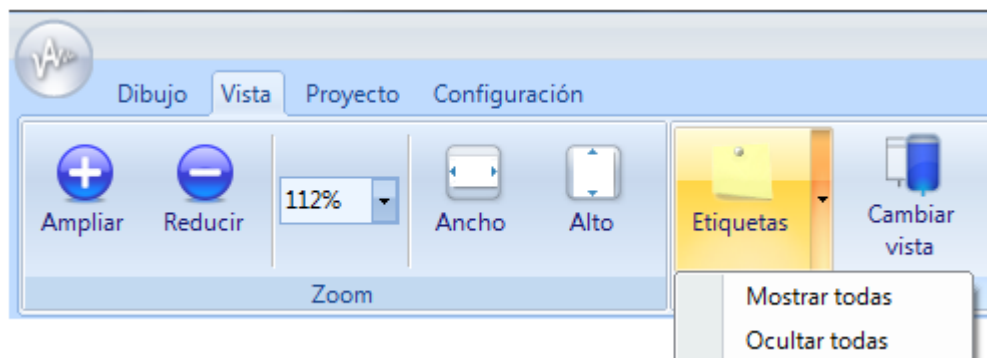
Seleccionando uno o varios elementos y haciendo click derecho, se despliega un menú con la opción “Etiquetas”, el cual le permite al usuario cambiar la posición de las etiquetas según sus preferencias. Esta acción también se puede hacer desde el teclado numérico del ordenador.



5.2.3 Mostrar u Ocultar Etiquetas

ALLIEVI brinda la posibilidad de mostrar u ocultar las etiquetas de los elementos empleando las siguientes acciones:

- Ir al menú *Vista* → *Etiquetas* → *Mostrar Todas / Ocultar Todas*



- Seleccionar elemento → Click derecho → *Mostrar Etiqueta / Ocultar Etiqueta*

5.3 Herramientas Avanzadas de Dibujo

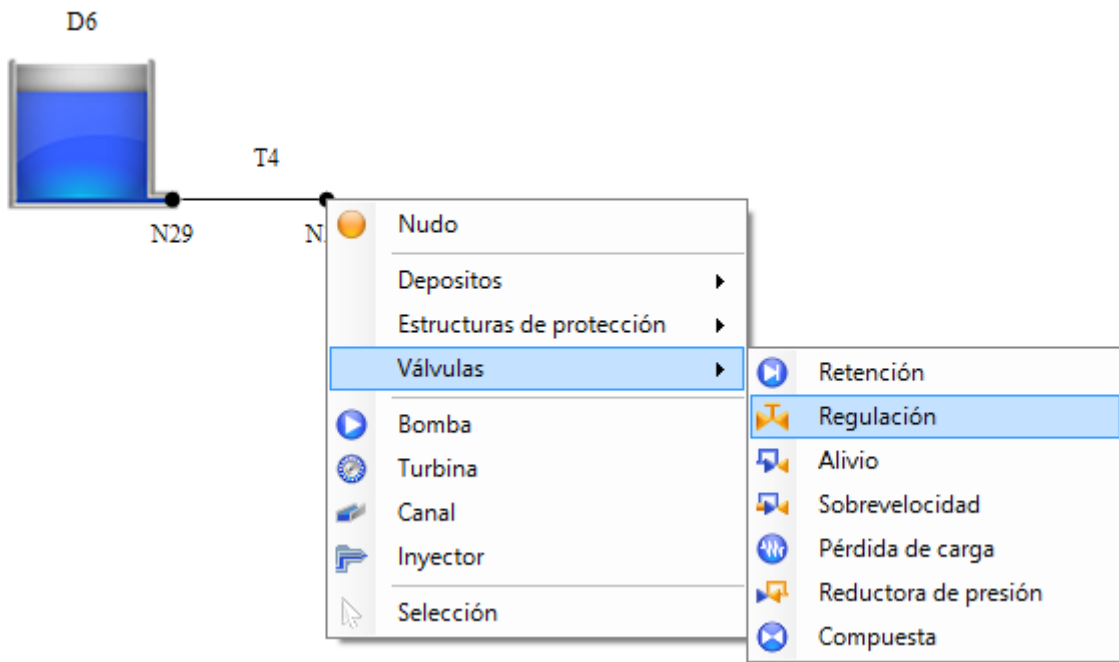
5.3.1 Dibujo Rápido

La herramienta de dibujo rápido permite introducir elementos conectados con un ahorro importante de tiempo y clicks, puesto que es posible crear toda una red sin tener que parar de dibujar. La herramienta se encuentra en el menú dibujo y para activarla se debe proceder de la siguiente manera:

- Ir al menú *Dibujo* → *Herramientas* → *Rápido*



Una vez esté activa la herramienta de Dibujo rápido, se selecciona el primer elemento que se desea introducir de la red. Automáticamente el cursor se pone en modo tubería y haciendo click derecho se puede cambiar de elemento.

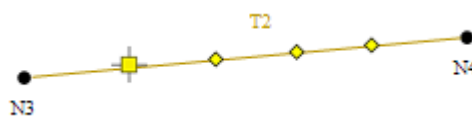


La manera de salir del dibujo rápido es bien sea activando de nuevo la herramienta selección o desde el propio menú desplegable al hacer click derecho. También cuenta con un atajo y es pulsando dos veces la tecla ESC.

5.3.2 Cambiar de Tubería a Poli tubería



Una vez dibujada una instalación, es muy posible que se requiera modificarla. Por ejemplo, colocarle vértices a una tubería y convertirla en una poli tubería. La manera de hacerlo es:

- *Seleccionar la tubería con la herramienta selección*
- *Pulsar las teclas Control (Ctrl) y Shift (Mayúscula) al tiempo aparece la herramienta que permite insertar los vértices*
- *Con el cursor en modo → Hacer click sobre la tubería y agregar los vértices necesarios.*



5.3.3 Edición de Vértices

La posición de los vértices se cambia de la siguiente manera:

- Pulsando la tecla Control (Ctrl) se selecciona la tubería, con lo que aparece la herramienta de edición de vértices. 
- Al pulsar sobre cualquiera de ellos se cambia el cursor  y se podrán mover los vértices al lugar deseado.

Para eliminar vértices:

- Hacer click sobre el vértice que se requiere eliminar.
- Pulsar la tecla Ctrl y esperar que el cursor cambie a una X



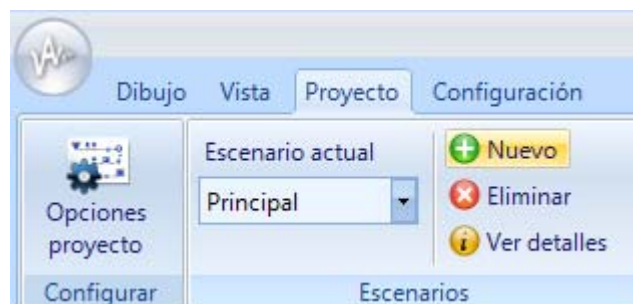
5.4 Creación de escenarios

ALLIEVI permite comparar distintas alternativas para resolver un mismo problema. Para ello cuenta con una herramienta que permite crear distintos escenarios de funcionamiento a partir de uno principal.

Para cada uno de los escenarios es posible cambiar diferentes elementos de protección, cambiar datos, calcular y comparar entre si todos los resultados.

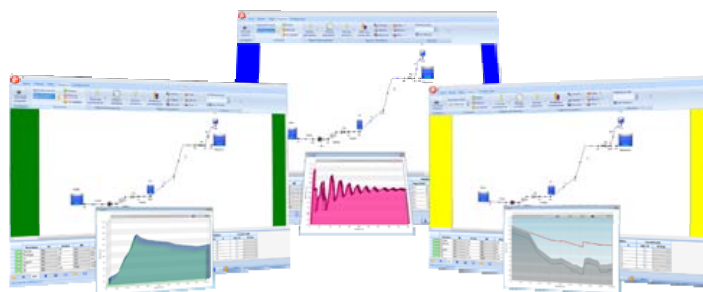
Es importante resaltar que el escenario principal es aquel que se muestra una vez se inicia el programa. Los pasos para crear uno nuevo son los siguientes:

- Ir a Proyecto → Escenarios → Nuevo: Se despliega una ventana en la que se debe introducir el nombre del escenario, la etiqueta o abreviatura, una descripción del fenómeno que desea modelar y seleccionar el escenario a partir del cual desea crear el nuevo.

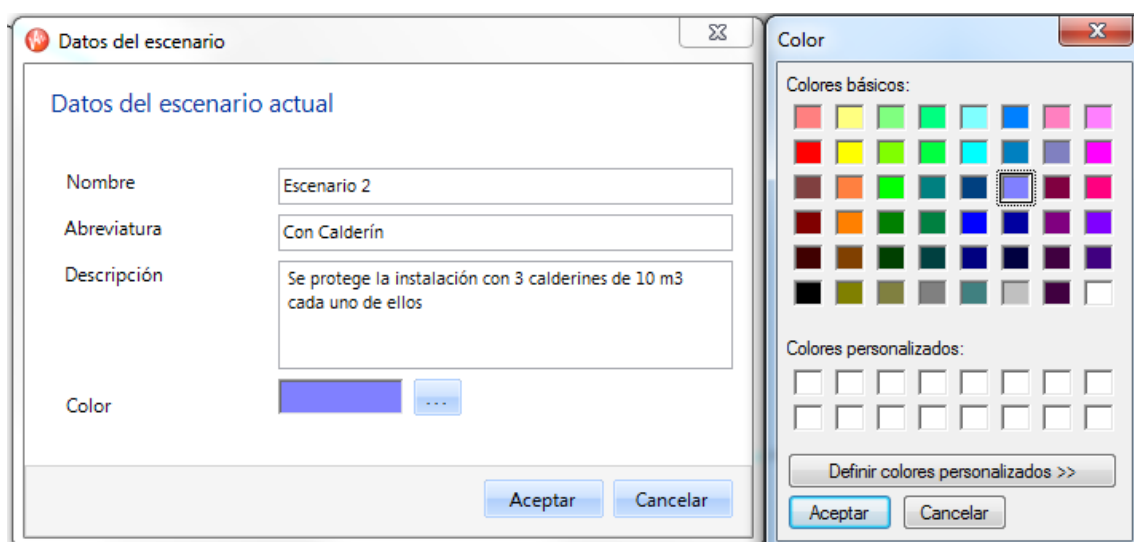


IMPORTANTE: Cuando se crea un nuevo escenario, ALLIEVI bloquea el dibujo y el usuario no puede cambiar la topología de la red ni ingresar nuevos elementos. Por tal motivo, se recomienda que en el escenario principal se dibujen todos los elementos necesarios, sin olvidar que puede activar y desactivar, así como cambiar de un elemento de protección a otro, empleando los atajos del teclado.

Los escenarios se diferencian entre sí tanto por el nombre como por el color de fondo que le aplica ALLIEVI al crear uno nuevo. Este color es configurable al gusto del usuario de la siguiente manera:



- Ir a Proyecto → Escenarios → Ver detalles → Color

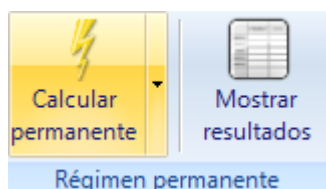


6. Asistente de resultados

6.1 Resultados del régimen permanente

Para acceder a los resultados del régimen permanente se debe:

- Ir a Proyecto → Régimen permanente → Calcular:



- Ir a Proyecto → Régimen permanente → Mostrar resultados. Pulsando en cada una de las figuras se pueden ver los resultados del respectivo elemento.

Resultados del régimen permanente

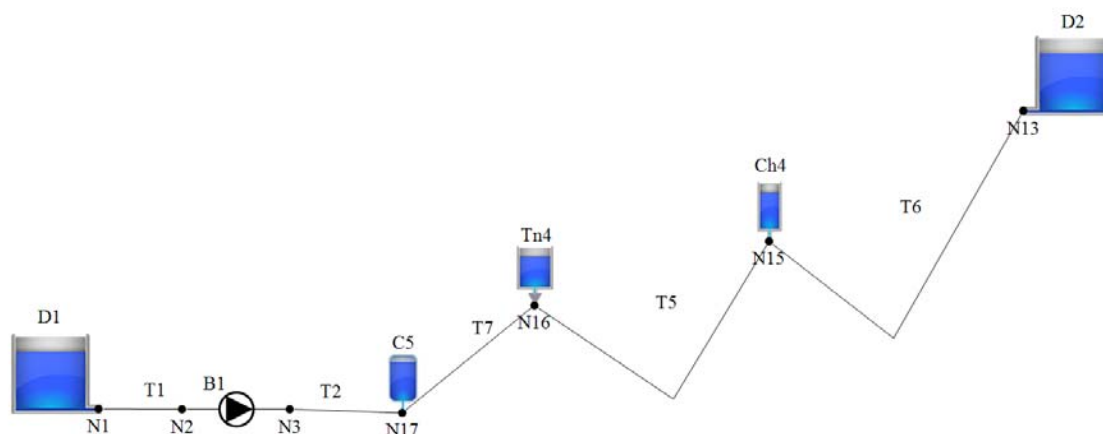
Resultados del régimen permanente.

Permite visualizar los resultados del cálculo para el régimen permanente, seleccionando el tipo de elemento

	Nombre	H(m)	Pr(m)
1	N0_fin	3.00	3.00
2	N1	3.00	3.00
3	N2	2.97	2.97
4	N3	71.19	71.19
5	N13	53.00	3.00
6	N13_fin	53.00	3.00
7	N16	68.14	33.14
8	N16_fin	40.00	0.00
9	N17	71.16	71.16
10	N17_fin	71.16	68.04
11	N15	60.57	18.07
12	N15_fin	60.57	0.00

Para exportar estos resultados, se seleccionan los datos y pulsando Ctrl + C, es posible llevarlos a programas comerciales como puede ser Microsoft Excel.

En la tabla anterior se representan alturas piezométricas y presiones en régimen permanente para los nudos del esquema indicado a continuación:



Cabe indicar que para el programa, todos los elementos del sistema se conectan entre dos nudos, uno inicial y otro final, aunque en el esquema algunos tipos de depósitos, los dispositivos de protección y las leyes de Q o de H disponen solamente de un nudo. En la tabla de resultados se incluyen estos nudos ocultos, cada uno de ellos junto a su correspondiente nudo visible. Para el esquema que estamos considerando los nudos inicial y final de los elementos con un solo nudo visible son los que se muestran en la siguiente tabla:

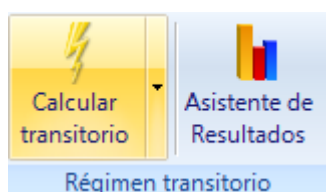
Elemento	Nudo inicial	Nudo final
Depósito D1	N0_fin	N1
Depósito D2	N13	N13_fin
Calderín C5	N17	N17_fin
Tanque unidireccional Tn4	N16	N16_fin
Chimenea de equilibrio Ch4	N15	N15_fin

Según los valores indicados en la tabla de resultados, la presión en el nudo final del calderín (nudo N17_fin con presión de 68'04 mca), es la presión del gas en el interior del calderín.

6.2 Resultados del régimen transitorio

Una vez calculado el régimen permanente, para acceder a los resultados del régimen transitorio se debe:

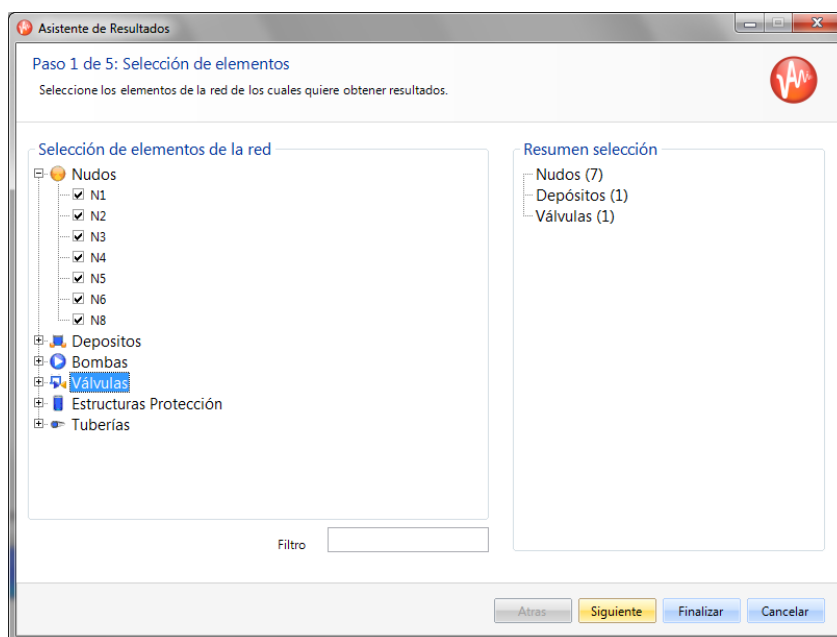
- Ir a menú *Proyecto* → *Régimen transitorio* → *Calcular*.



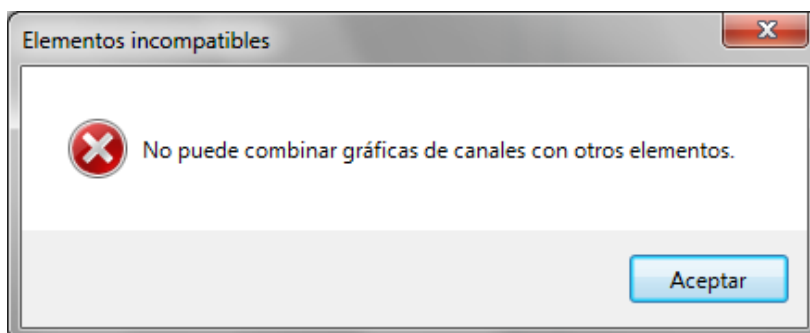
Existen varias maneras de acceder a los resultados.

6.2.1 Asistente de Resultados

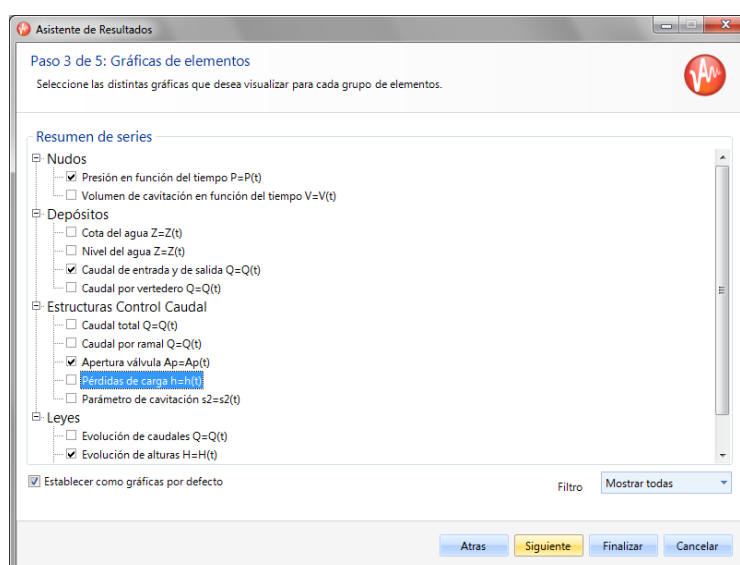
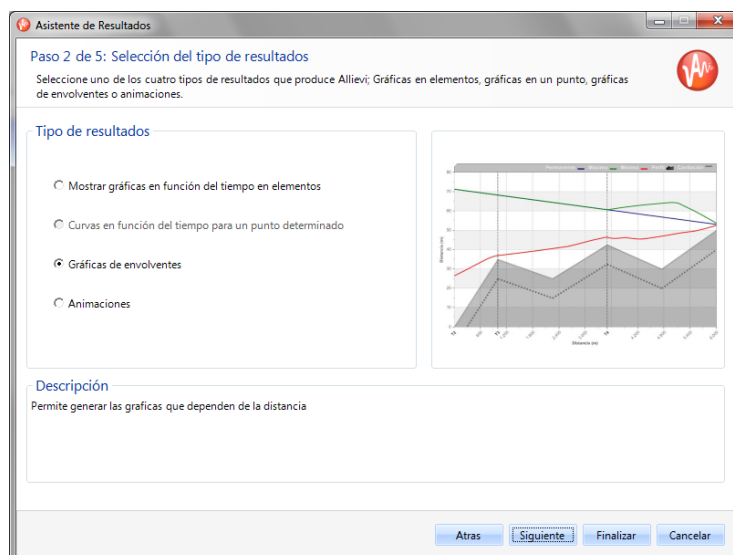
- *Ir a Proyecto → Régimen transitorio → Asistente de Resultados:* Se muestra el asistente que permite configurar cada una de las gráficas de resultados disponibles en Allievi. En el primer paso del asistente, el usuario selecciona los elementos que desea analizar y a su derecha tiene un resumen de todos aquellos que se han seleccionado.



NOTA: Los elementos como canales y tuberías cuentan con gráficas que no son compatibles con otros elementos. Por ello, ALLIEVI no permite seleccionar estos elementos en una misma salida de resultados y muestra un mensaje de error.

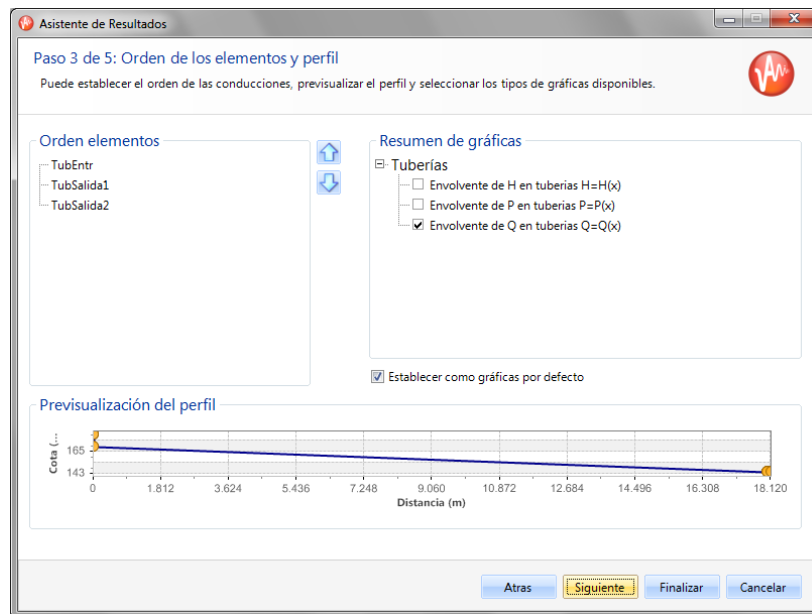


- Ir a Proyecto → Régimen transitorio → Asistente de Resultados → Paso 2 y 3: Pulsando siguiente y en caso que dentro de la selección de elementos se encuentren canales y tuberías, en el paso 2 del asistente se selecciona el tipo de gráfico que se desea generar. De lo contrario, el asistente pasa directamente a seleccionar las series de resultados para cada uno de los elementos.

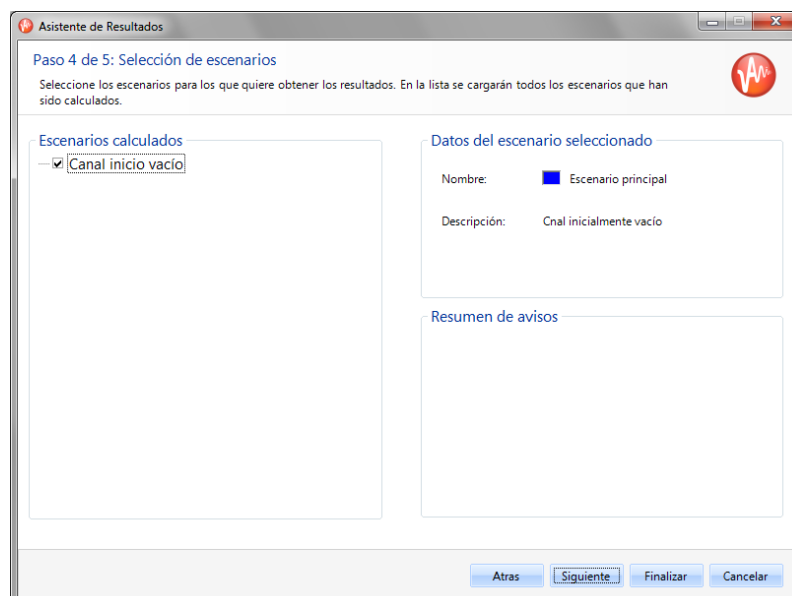


IMPORTANTE: Si el usuario considera que las series seleccionadas son las que más utiliza para esos elementos, puede activar la opción de establecer gráfica por defecto. De tal manera que se guarden y se muestren a posteriori sin necesidad de volver al asistente.

- Ir a Proyecto → Régimen transitorio → Asistente de Resultados → Paso 3:
Para el caso de canales y tuberías, en el paso 3 del asistente se debe dar el orden correcto empleando los botones ubicados al lado derecho de los elementos. En la parte inferior se muestra una previsualización del perfil que sirve como guía.
En la parte izquierda, se selecciona el tipo de serie que el usuario desea representar.

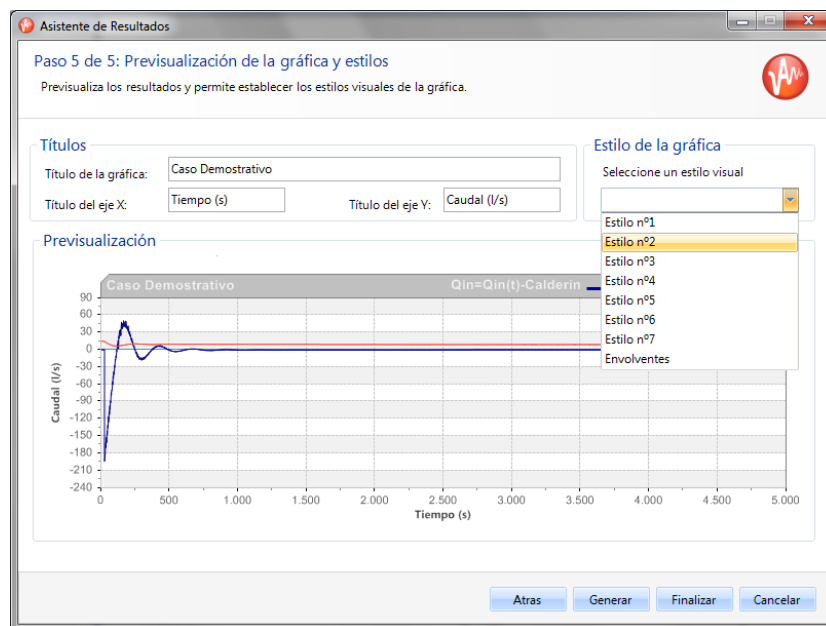


- Ir a Proyecto → Régimen transitorio → Asistente de Resultados → Paso 4:
En el paso 4 del asistente, se selecciona el o los escenarios que se desean representar; a la izquierda el usuario puede ver las características de cada escenario con el fin de evitar confusiones.



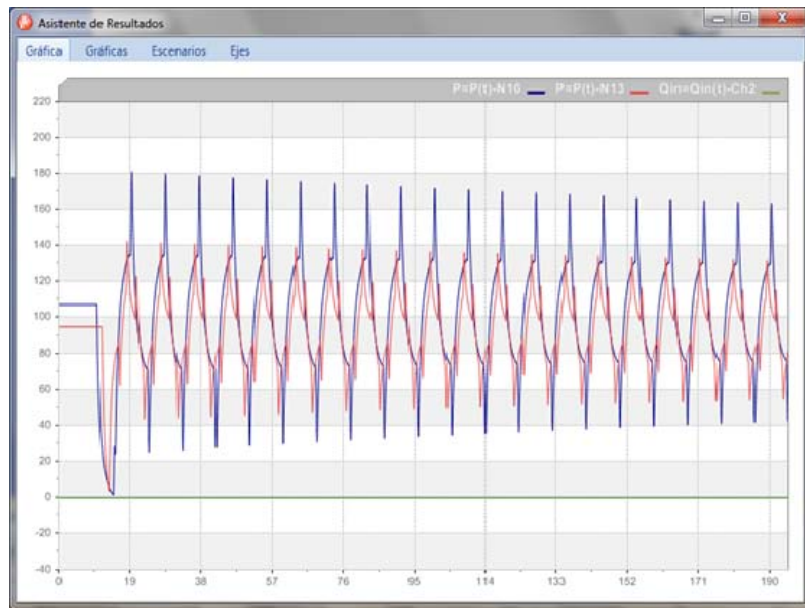
- Ir a Proyecto → Régimen transitorio → Asistente de Resultados → Paso 5: Aquí el usuario configura la apariencia de la gráfica, asignando un título a cada uno de los ejes y seleccionando entre diferentes estilos aquel que mejor se ajuste a sus preferencias.

Pulsando Finalizar, ALLIEVI muestra el resultado gráfico y numérico.

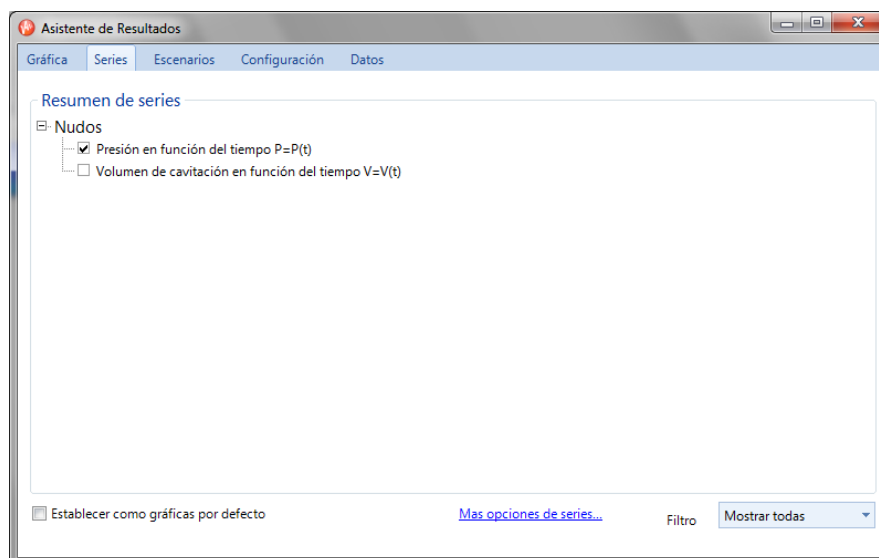


NOTA: En cada uno de los pasos del asistente, el usuario cuenta con la opción “Finalizar”, que le permite salir del asistente y mostrar la gráfica sin necesidad de completar todos los pasos.

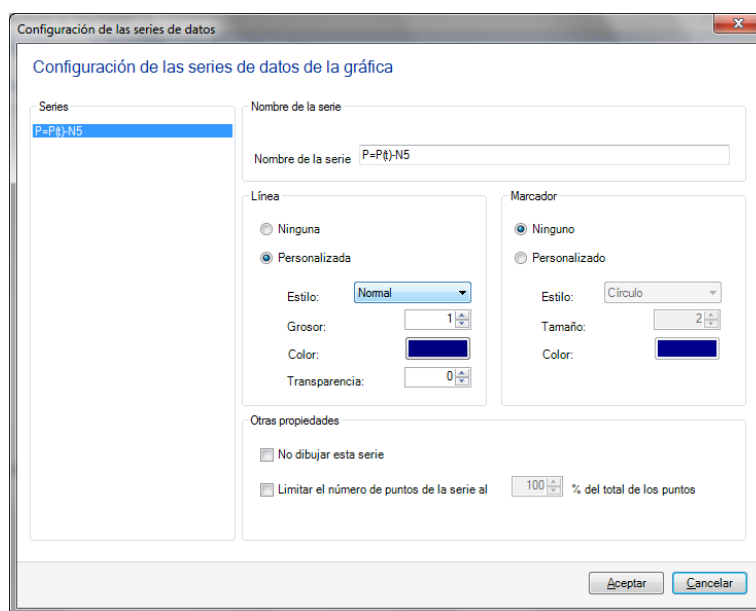
Una vez se generan las gráficas, es posible modificarlas si necesidad de regresar al asistente:



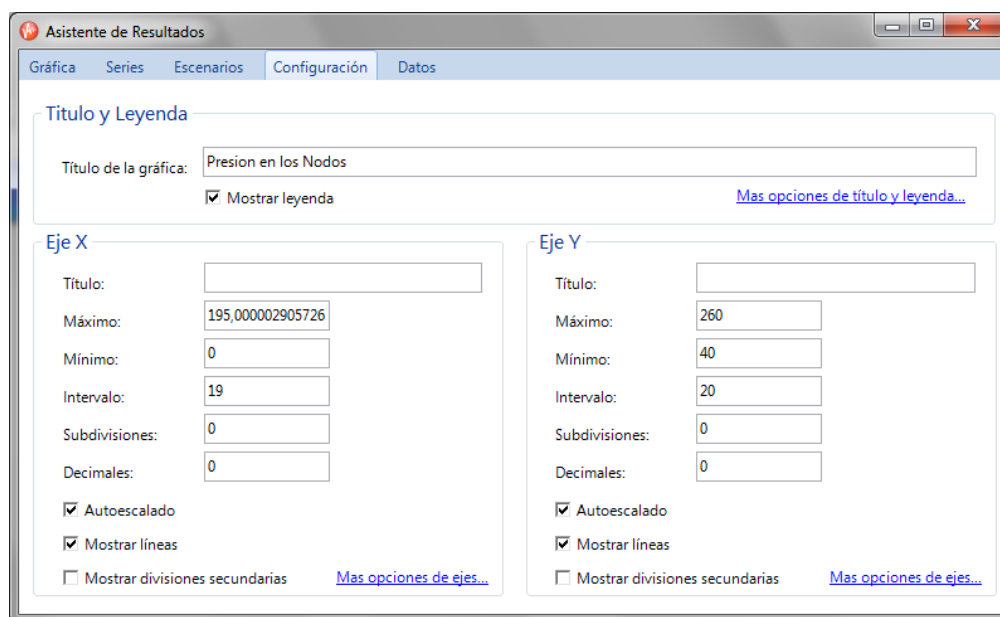
En la pestaña *Series*, aparecen aquellas que están representadas en la gráfica:



Seleccionando *Más opciones de series*, se pueden configurar los colores de cada serie, cambiar el nombre y decidir entre otras cosas si se desea dibujar o no una serie.

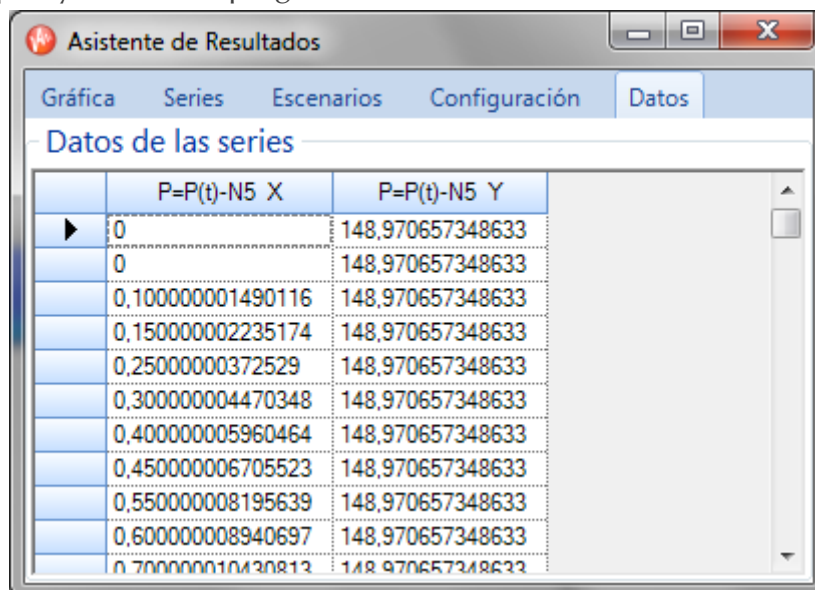


En la pestaña de *Configuración* es posible cambiar el título del gráfico, de los ejes, configurar la escala, definir el tipo de letra que mejor se adapte a sus preferencias, el color, el tamaño, entre otras. Para esto, se debe seleccionar la opción “*Más opciones de título y leyenda*”



IMPORTANTE: Para cambiar la escala que se muestra por defecto, debe estar deshabilitada la opción de *Autoescalado*. De lo contrario, se conserva la escala inicial.

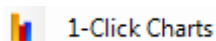
Finalmente, en la pestaña de *Datos* el usuario encuentra los valores de cada una de las series que están representadas en el gráfico. Estos valores también se pueden copiar y llevarlos a programas como Microsoft Excel.







	P=P(t)-N5 X	P=P(t)-N5 Y
▶	0	148,970657348633
	0	148,970657348633
	0,100000001490116	148,970657348633
	0,150000002235174	148,970657348633
	0,25000000372529	148,970657348633
	0,300000004470348	148,970657348633
	0,400000005960464	148,970657348633
	0,450000006705523	148,970657348633
	0,550000008195639	148,970657348633
	0,600000008940697	148,970657348633
	0,700000010430813	148,970657348633

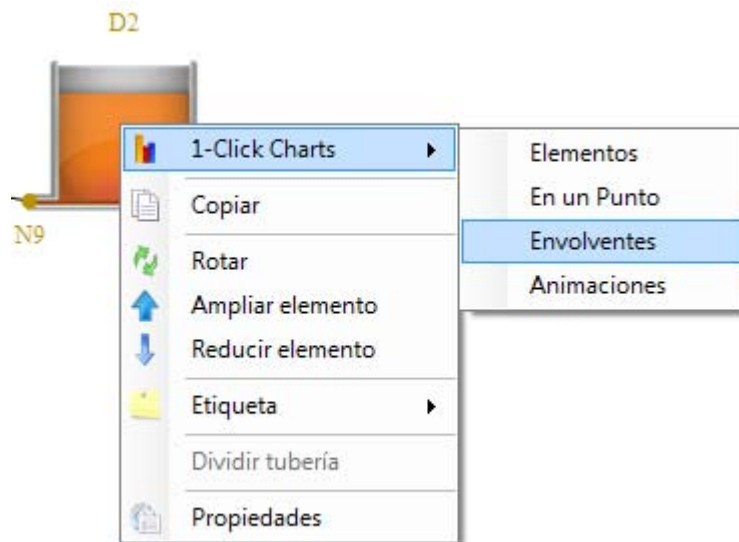
6.2.2 Resultados con un Click Chart

ALLIEVI cuenta con una herramienta que permite acceder rápidamente a los resultados del régimen transitorio; tan solo seleccionando el o los elementos que se desea analizar y haciendo click derecho aparece un menú con la opción



Según los elementos seleccionados, se pueden acceder a los siguientes gráficos:

-  Elementos
-  En un punto
-  Envolverte
-  Animaciones



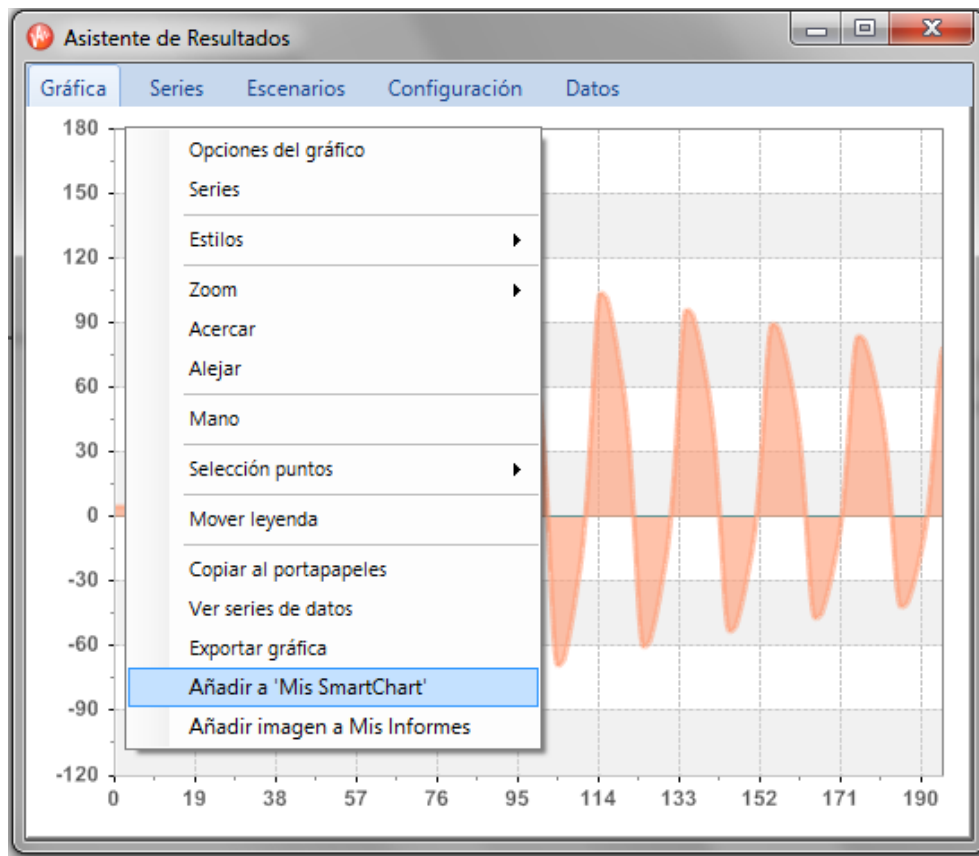
Por defecto se muestra la gráfica más representativa o la que el usuario se ha configurado y guardado desde el asistente de resultados.

6.2.3 SmartCharts

Esta herramienta permite guardar una gráfica y tenerla siempre disponible, de tal manera que si el usuario vuelve a simular el proyecto SmartCharts la actualiza y la muestra con los nuevos resultados.

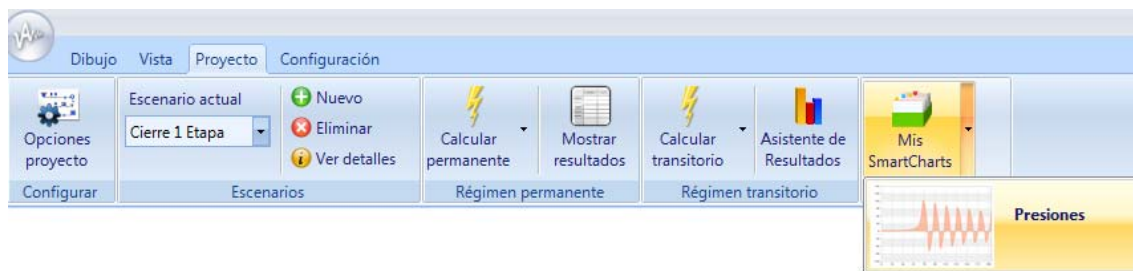
La manera de guardar una gráfica en el SmartCharts es la siguiente:

- Pulsar botón derecho → Añadir a “Mis SmartChart”: Ingresar el nombre con el que se desea guardar la gráfica.



Para acceder a la gráfica se debe:

- Ir a menú Proyecto → Mis SmartChart: Seleccionar la gráfica

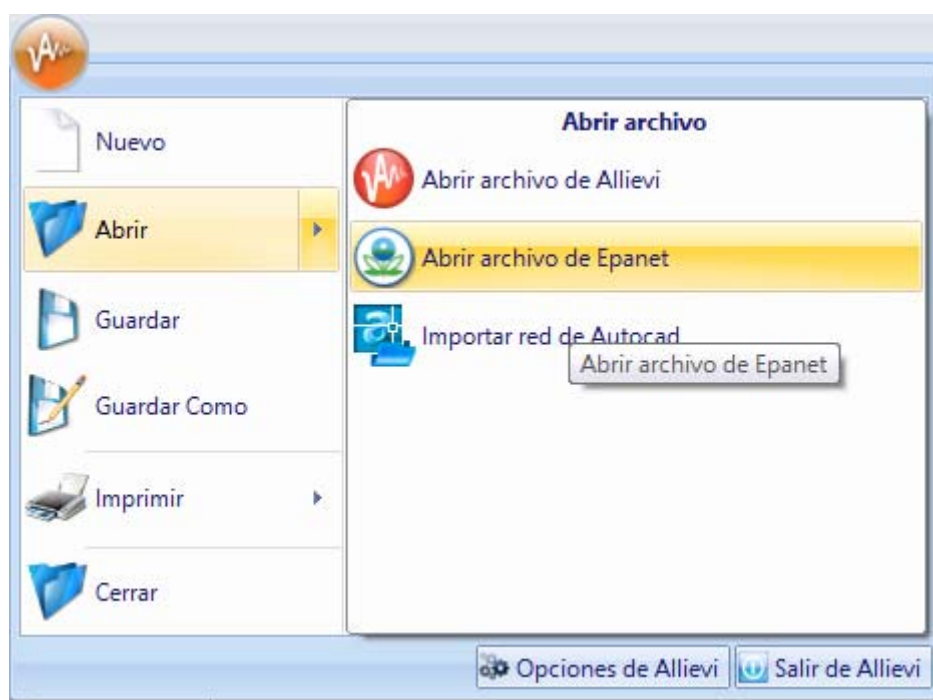


7. Compatibilidad de ALLEIVI con Epanet y AutoCad

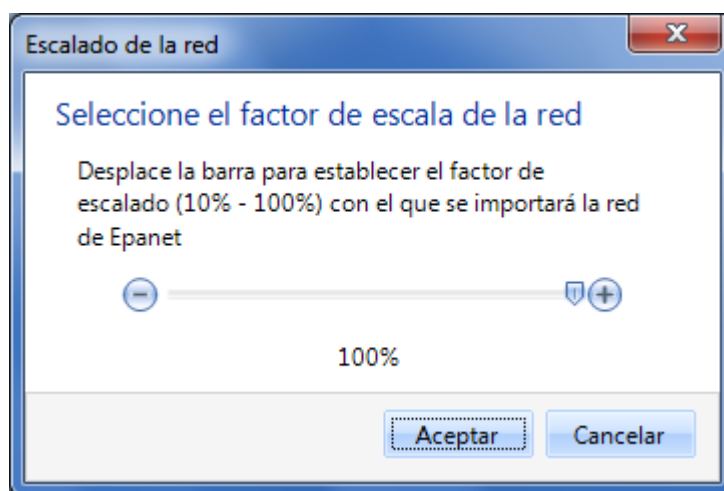
EPANET y AutoCad son los software de mayor uso comercial en la Ingeniería del agua. Es por eso que Allievi permite importar redes hidráulicas desde EPANET (.inp) y AutoCad (.dxf)

La manera de importar un archivo desde EPANET es la siguiente:

- Botón de Inicio → Abrir → Abrir Archivo de Epanet

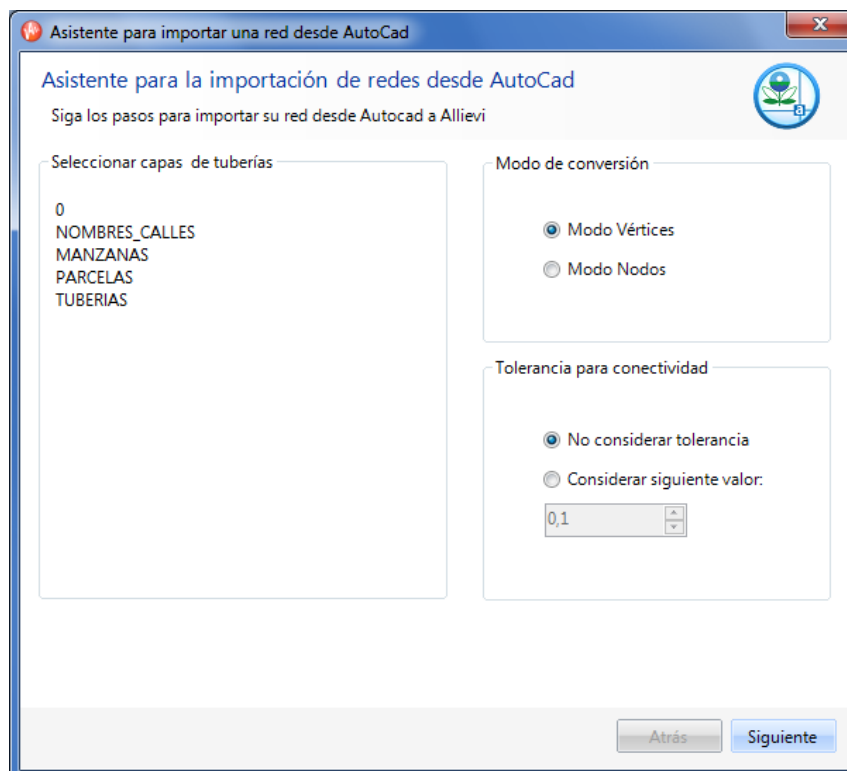
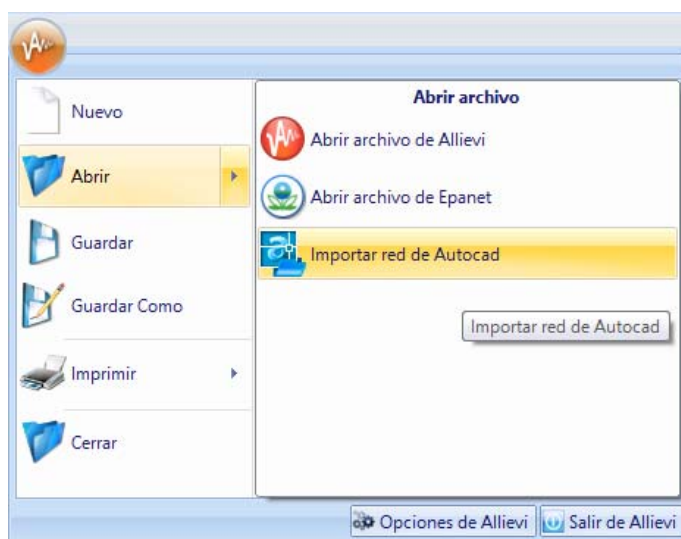


Al abrir un fichero con extensión (.inp), Allievi pregunta por el factor de escala en la que se desea visualizar el esquema

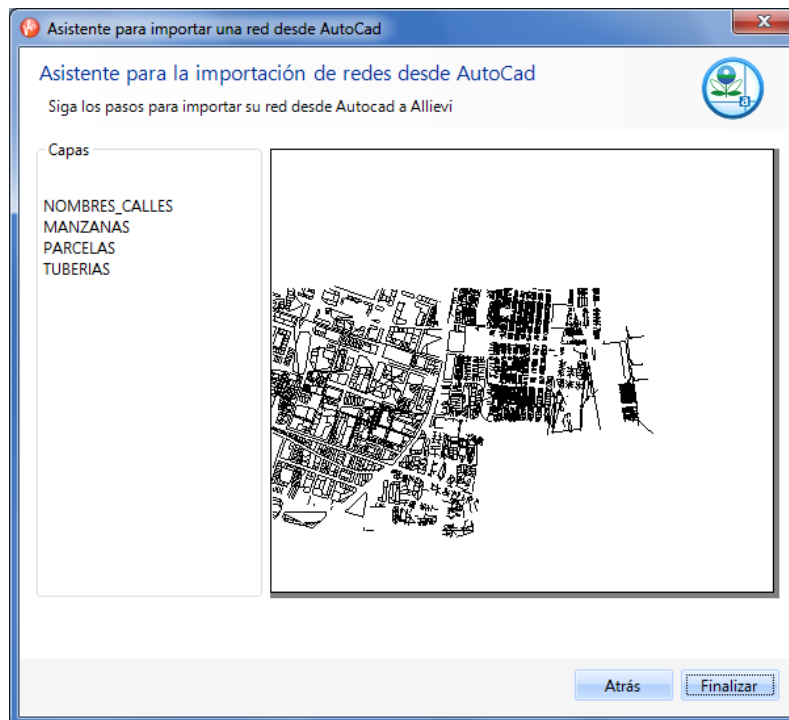


IMPORTANTE: Allievi no solo importa el esquema de la red, sino también los datos de la misma. Sin embargo, se debe tener especial cuidado en aquellos elementos que son incompatibles entre ambos programas, como por ejemplo el caso de válvulas compuestas.

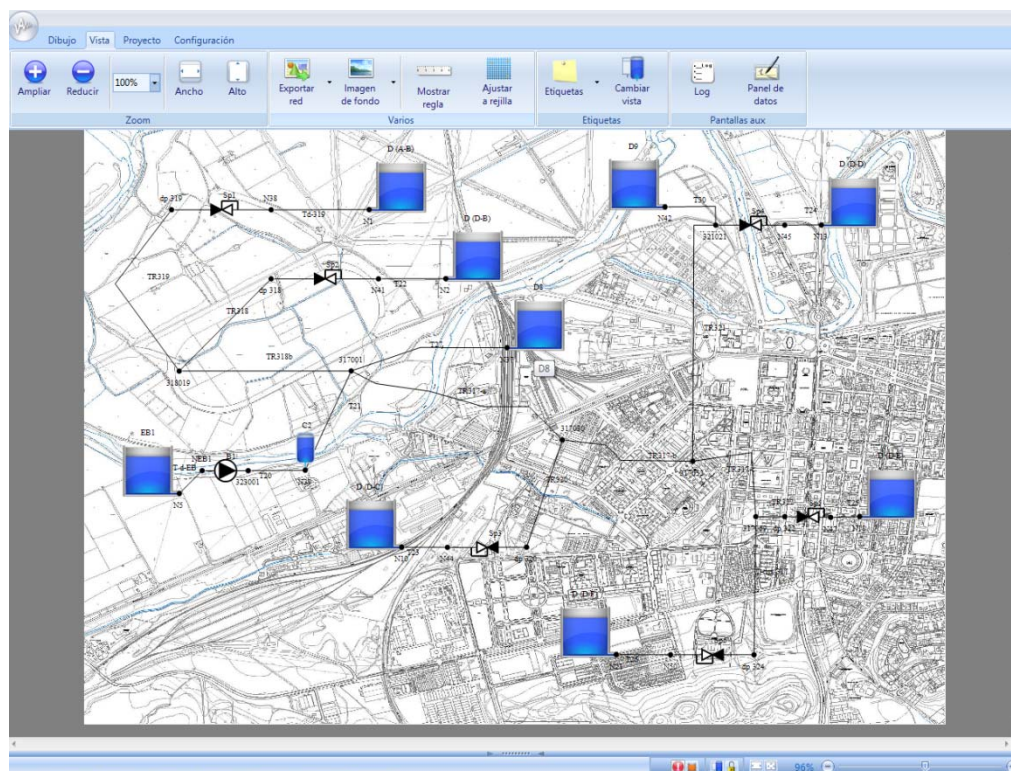
- Botón de Inicio → Abrir → importar red de Autocad → Se desplegará un asistente en el que el usuario selecciona: las capas que desea importar, el modo de conversión deseado (mediante vértices o nodos) y la tolerancia para la conectividad.



Al pulsar siguiente, se puede obtener una previsualización del plano que se está importando. Es muy importante tener presente que el tiempo que tarda Allievi en la conversión es directamente proporcional al número de capas que maneje el proyecto desde AutoCad.



Una vez se realice la conversión bien sea desde Epanet o AutoCad, usted puede visualizar el proyecto en Allievi con todos los elementos y sus respectivos datos. En estos casos siempre es necesario revisar los datos y elementos importados, para detectar posibles incompatibilidades y corregirlas adecuadamente.



8. Atajos con el teclado

Atajos de Zoom	Acción
1. Ctrl_ "+"	Aumenta el nivel zoom
2. Ctrl_ "-"	Disminuye el nivel del zoom
3. +	Aumenta el zoom de un elemento
4. -	Disminuye el zoom de un elemento
5. Barra espaciadora	Activa la Herramienta Mano
6. Ctrl_ "E"	Selecciona todo el dibujo
Atajos Varios	Acción
7. F12	Bloquea el Dibujo
8. Ctrl_ "Shift"	Muestra/oculta los datos de los elementos
9. Shift	Desconecta de una tubería una estructura de protección
10. F1	Cambia a un calderín
11. F2	Cambia a una chimenea
12. F3	Cambia a un tanque unidireccional
13. Ctrl_ "C"	Copiar elementos y datos
14. Ctrl_ "V"	Pegar elementos y datos
Atajos Edición de vértices	Acción
15. Ctrl	Edita una Tubería
16. Ctrl_ "Shift"	Inserta vértices en la tubería
17. Ctrl_ Click	Elimina vértices
Atajos Etiquetas	Acción
18. "1"	Posición de la etiqueta "Abajo Izquierda"
19. "2"	Posición de la etiqueta "Abajo Centro"
20. "3"	Posición de la etiqueta "Inferior Derecha"
21. "4"	Posición de la etiqueta "Izquierda"
22. "6"	Posición de la etiqueta "Derecha"

23. "7"	Posición de la etiqueta "superior Izquierda"
24. "8"	Posición de la etiqueta "superior Centrado"
25. "9"	Posición de la etiqueta "superior Derecha"
Atajos del Dibujo rápido	
	Acción
26. "A"	Inserta una Válvula de regulación
27. "B"	Inserta una Bomba
28. "C"	Inserta una Chimenea
29. "D"	Inserta un Depósito con nodo derecha
30. "E"	Inserta una Válvula de pérdida de carga
31. "I"	Inserta un Inyector
32. "L"	Inserta una Ley
33. "M"	Inserta una Turbina
34. "N"	Inserta un Nodo
35. "O"	Inserta un Canal
36. "Q"	Inserta una Válvula de alivio
37. "R"	Inserta una Válvula reductora
38. "T"	Inserta un Tanque Unidireccional
39. "U"	Inserta una Válvula de sobre velocidad
40. "V"	Inserta un Calderín
41. "W"	Inserta una Válvula compuesta
42. "Y"	Inserta una Válvula de retención



ALLIEVI - Todos los derechos reservados
Versión 2.0.0.0, Febrero de 2015