

Anexo

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DYGOSIA V. I. 0

La aplicación de ordenador desarrollada soporta la optimización del sistema constituido por la estación de bombeo, la energía eléctrica consumida por los grupos de bombeo, la tubería de impulsión y el depósito de regulación, de forma que sea capaz de satisfacer una demanda dada. La función de costes totales a minimizar cuenta con los siguientes elementos:

1. El consumo energético de la estación de bombeo. Dicho coste está constituido por un término de potencia y un término de energía. El primero depende de la potencia contratada y del modo de facturar dicha potencia, factores ambos que se determinan una vez que han sido seleccionados los grupos de bombeo. El segundo depende del consumo de energía eléctrica de las bombas, que es función de la altura de energía y del caudal impulsado, así como del número de horas de funcionamiento y del contrato del suministro eléctrico elegido.
2. El coste de la estación de bombeo, que está directamente relacionado con la potencia de los grupos motor-bomba, que asimismo depende del caudal impulsado y de la altura de bombeo.
3. El coste de la tubería de impulsión, que depende del diámetro seleccionado, el cual determina las pérdidas de carga que se van a producir y, en consecuencia, la altura de energía que deberán proporcionar las bombas.
4. El coste del depósito o balsa de regulación, que está relacionado con el volumen del mismo. En éste podemos distinguir entre el volumen de reserva determinado por criterios que no son económicos y, el volumen de regulación el cual depende de las diferencias entre el caudal demandado y el caudal impulsado, estando éste último determinado por el régimen de bombeo (potencia y características de las bombas, caudal impulsado en cada hora, número de bombas en marcha, número de horas de funcionamiento y, momentos de arranque y parada).

Los costes anteriores están referidos a diferentes bases temporales. Los costes de inversión inicial (estación de bombeo, tuberías y depósito) se tienen en un momento puntual, mientras que los costes de explotación (costes energéticos) van a estar presentes a lo largo del tiempo. Para poder relacionar ambos se considera un período de referencia de duración

anual, de forma que se tienen en cuenta los costes energéticos a lo largo de todo un año y los costes de inversión amortizados.

La solución nos determina el régimen de bombeo (potencia y características de las bombas, caudal impulsado en cada hora, número de bombas en marcha, horas de funcionamiento y, momentos de arranque y parada), el diámetro de la tubería de impulsión, el volumen de regulación del depósito, y el contrato del suministro de energía eléctrica, de forma que se minimicen los costes totales del sistema.

Para iniciar el programa basta con hacer doble click en el icono de dicha aplicación. Así aparece la pantalla de presentación (figura A1) que pide la clave de acceso. Introducida ésta se espera a que aparezca la **Ventana Principal** (figura A2), que está compuesta de seis opciones principales en la barra de menú: *Archivo, Bombas, Costes, Optimizar, Resultados y Ayuda*, y de cuatro bloques diferenciados en el entorno de la ventana: *Requerimientos de altura de energía y caudal, Características, Costes y Parámetros de cálculo*. A continuación se describe cada una de las opciones de la barra de menú así como el entorno de ventana del menú principal.

I. Ventana principal

La optimización del diseño y gestión de sistemas de impulsión y almacenamiento de agua se inicia con la preselección de los grupos motor-bomba que pueden satisfacer las necesidades máximas de caudal y altura de energía de la red de distribución. La aplicación desarrollada compara estos

FIGURA A1

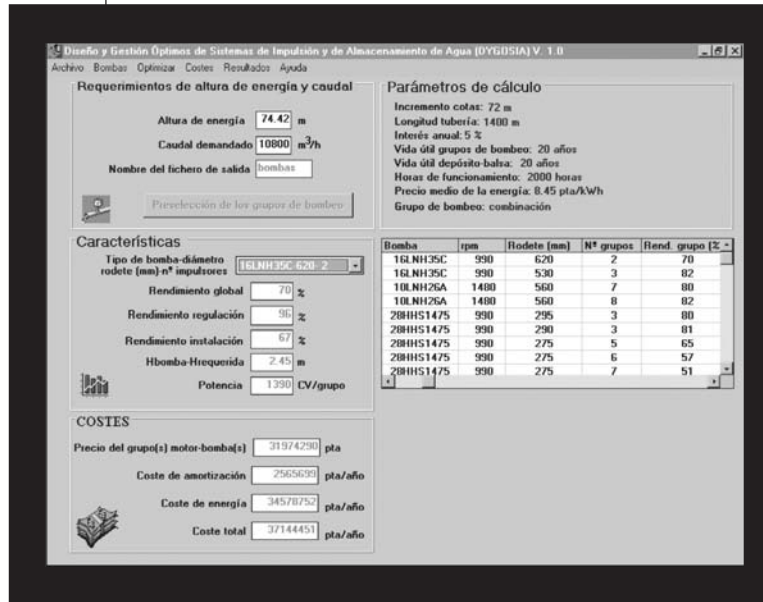
Pantalla de presentación de la aplicación de ordenador "Diseño y Gestión Óptimos de Sistemas de Impulsión y de Almacenamiento de Agua" (DYGOSIA)



requerimientos con las prestaciones de las bombas almacenadas en el fichero de datos (tabla A1), dando como salida las bombas y/o combinaciones de bombas que satisfacen las necesidades expuestas. El procedimiento seguido para determinar el número de grupos en paralelo consiste en fraccionar el caudal en 2, 3, ..., n

veces, considerando que no hay bombas que den caudales menores a 6 m³/h y que no hay más de 10 grupos en paralelo. Estos condicionantes pueden modificarse en la opción de barra Bombas.

FIGURA A2 Combinaciones de bombeo preseleccionadas para unos requerimientos dados en la ventana principal de la aplicación de ordenador DYGOSSIA



Para la evaluación de los costes de cada combinación de grupos de bombeo se considera un precio medio de la energía eléctrica, un número medio de horas anuales de utilización de la instalación y que las bombas trabajan en un único punto de funcionamiento correspondiente al de necesidades máximas.

En el bloque del entorno de la ventana *Parámetros de cálculo* se muestran los valores que se van a considerar en la preselección de los grupos de bombeo y en la posterior evaluación de los costes que implica cada combinación elegida (figura A2). Los datos necesarios para calcular el diámetro y la altura de energía máxima necesaria en la tubería de impulsión son: el incremento de cotas (m) a superar y la longitud (m) de la tubería. La aplicación desarrollada también permite la introducción del diámetro (mm) seleccionado por el usuario. Los datos que se van a utilizar para la evaluación de los costes son: tasa de interés de la amortización (%), vida útil de los grupos de bombeo

(años), horas de funcionamiento de las bombas y precio medio de la energía eléctrica (€/kWh). Todos estos valores se introducen en la opción de barra *Costes*, que por defecto son: 5% de interés anual, 20 años de vida útil, 2.000 horas de funcionamiento y 0,06 €/kWh el precio medio de la energía eléctrica.

Las necesidades máximas de altura de energía (m) y caudal (m³/h) se muestran en el bloque *Requerimientos de altura de energía y caudal*, siendo necesario para su cálculo, además de los datos mencionados anteriormente, los ficheros de caudal demandado y tuberías que han de ser abiertos con la alternativa *Abrir* que se encuentra en la opción de barra *Archivo*. Estas dos cajas de texto también permiten la modificación a voluntad del usuario de los valores de necesidades máximas mediante la alternativa *Nuevo* localizada en la opción de barra *Archivo*. En la tercera caja de texto de este bloque se ha de escribir el nombre del fichero donde se guardarán las características de los grupos de bombeo que se van a seleccionar (tabla A1). Una vez que las tres cajas de texto están rellenas correctamente se activa el botón *Preselección de los grupos de bombeo*, que al pulsarlo determina los grupos motor-bomba que satisfacen los requerimientos impuestos y sus costes asociados. Previamente a este paso hay que abrir en la opción *Archivo* el fichero con las características de las bombas comerciales que se van a probar.

En el bloque de ventana *Características* se encuentra una primera caja de texto donde se muestra el tipo, diámetro de rodete (mm) y número de impulsores en paralelo de las combinaciones de bombeo preseleccionadas. Esta caja es desplegable y al hacer 'click' en una de las combinaciones se muestran el resto de características presentadas en sus respectivas cajas de texto: *Rendimiento global (%)*, *Rendimiento regulación (%)*, *Rendimiento instalación (%)*, $H_{bomba} - H_{requerido}$ (m) (diferencia entre las alturas de energía suministrada por los grupos de bombeo y requerida por el sistema de distribución) y *Potencia (CV/bomba)*. Asimismo en las cajas de texto del bloque *Costes* se presentan sus valores respectivos que se corresponden con el coste de inversión de la combinación de bombeo seleccionada (€), el coste de amortización de estos grupos (€/año), el coste de energía (€/año) y el coste total anual (€/año) suma de los costes de amortización y de energía. También aparece en el entorno de la ventana del menú principal una malla donde se resumen las características y costes de todas las combinaciones de bombeo preseleccionadas: marca y tipo de bomba, revoluciones por minuto (rpm), diámetro de rodete (mm), número de grupos en paralelo, rendimiento global (%), rendimiento regulación (%), rendimiento instalación (%), potencia de motores (CV/bomba), coste de inversión (€), coste de amortización (€/año), coste de energía (€/año) y coste total (€/año) (figura A2).

Opción de barra Archivo

Esta opción presenta un menú desplegable con cuatro opciones: *Nuevo*, *Abrir*, *Imprimir* y *Salir*. La opción *Nuevo* permite la introducción de nuevos datos en la aplicación para el cálculo de la altura de energía, caudal demandado y diámetro de la tubería de impulsión, y así ejecutar la aplicación tantas veces como se desee sin necesidad de iniciarla. También permite la modificación a voluntad del usuario de las necesidades máximas de altura de energía y caudal mostrados en el bloque de *Requerimientos de altura de energía y caudal* del entorno de ventana.

La opción *Abrir* es el soporte principal para la lectura de los datos relativos a la demanda de la zona regable y de las bases de datos con las características de los grupos motor-bomba, de las tuberías, de los depósitos y de los tipos de contratos del suministro de energía eléctrica. Estos ficheros pueden ser tipo texto o tipo Excel, y han de tener la forma que se muestra en la tabla A I. En los archivos de las bombas, de las tuberías y de los depósitos se pueden añadir todos los tipos que se deseen. En el archivo de los complementos tarifarios, cada una de las columnas son los distintos elementos que recargan o bonifican el término de energía (€/kWh). Así si no hay recargo ni bonificación en una hora se pone un 1, si hay recargo del 70% se pone 1,7 y si hay bonificación del 43% se pone 0,57. Estos factores multiplicarán al precio del kWh en función del tipo de tarifa eléctrica que se considere, valores registrados en el fichero de precios de la energía eléctrica. Estos dos ficheros correspondientes al contrato del suministro eléctrico pueden ser modificados en función del número de complementos a considerar y del año en que se quiera evaluar el coste energético (los precios de la energía eléctrica se revisan anualmente y son publicados en el Boletín Oficial del Estado en las primeras fechas del año) o de las condiciones acordadas con la compañía eléctrica en el caso de estar en el mercado libre.

Se recomienda abrir estos ficheros de datos cuando se inicia la aplicación, a pesar de que los ficheros de los depósitos y de los tipos de contrato del suministro eléctrico se utilizan en la ventana *Política de bombeo*, operativa después de la preselección de los grupos de bombeo que satisfacen las necesidades máximas de altura de energía y caudal.

La opción *Imprimir* tiene a su vez dos alternativas: *Configuración de impresora* y *Datos*. La primera permite seleccionar la impresora que se va a utilizar así como la configuración de ésta: orientación, tamaño y origen del papel, y tipo y calidad de gráficos. Asimismo se puede indicar el intervalo de impresión (todo, selección, páginas), la calidad de la impresión y el número

de copias a realizar. La segunda alternativa solicita la dirección del fichero de datos o resultados que se quiere imprimir. Por último, la opción *Salir* implica la terminación de la aplicación.

CUADRO A1

Estructura de los ficheros que contienen los datos relativos a la demanda de agua, las características de los grupos motor-bomba, las tuberías y los depósitos comerciales y, de los tipos de facturación eléctrica a considerar

| Tipo de fichero | Columnas | Filas |
|--|---|-----------------------------------|
| Demanda | Hora / día / mes / demanda (m ³) | Número de horas de funcionamiento |
| Bombas | Marca / tipo / rpm / D rodete (mm) / A (m) / B (h/m ²) / C (h ² /m ⁵) / D (CV) / E (CV h/m ³) / F (CV h ² /m ⁶) / P _{m1} (CV) / C1 (€) / P _{m2} (CV) / C2 (€) / ... / P _{mn} (CV) / Cn (€) | Número de bombas comerciales |
| Tuberías | Material / D (mm) / Timbraje (atm) / Precio (€/m) | Número de tuberías comerciales |
| Depósitos | D (m) / Altura (m) / Capacidad (m ³) / Coste (€) | Número de depósitos |
| Precios de la energía eléctrica | Te (€/kWh) / Tp (€/kW-mes) | Tipos de tarifas eléctricas |
| Complementos de la facturación eléctrica | Sin DH / DH0 / DH1 / DH2 / DH3 / DH4 / DH5 / E /... | Horas del año |

rpm = revoluciones por minuto; D = diámetro; A, B, C, D, E, F = coeficientes de las curvas características de altura de energía y potencia; i (1, ..., n) = número de motores que pueden arrancar una bomba determinada; P_{mi} = potencia de los motores i que pueden arrancar una bomba dada; C_i = precios de los grupos motor-bomba; Te = término de energía; Tp = término de potencia; DH = discriminación horaria – DH0 = tipo 0, DH1 = tipo 1, DH2 = tipo 2, DH3 = tipo 3, DH4 = tipo 4, DH5 = tipo 5 –; E = complemento de estacionalidad

Opción de barra Bombas

La posibilidad de considerar un tipo determinado de grupos de bombeo o de preseleccionar aquellos que no impliquen déficit de altura de energía con un rendimiento del conjunto de la instalación igual o mayor al 30%, se realiza con esta opción. Se elige *Único* para la primera alternativa y *Combinación* para la segunda en la que el número máximo de bombas en paralelo es de 10. Si se selecciona esta segunda alternativa se puede cambiar el límite mínimo del valor del rendimiento del conjunto de la instalación, el número máximo de bombas en paralelo y el caudal mínimo que trasiega por una bomba (el valor por defecto es de 6 m³/h).

Opción de barra Costes

Anteriormente se indicó que en el bloque del entorno de la ventana *Parámetros de cálculo* se muestran los valores que se van a considerar en la

preselección de los grupos de bombeo, en la determinación del diámetro más económico de la tubería de impulsión y en la posterior evaluación de los costes que implica cada combinación elegida. Los datos necesarios se introducen en esta opción de barra del menú principal, que presenta un menú desplegable con seis alternativas: *altura de energía*, *interés anual (%)*, *vida útil grupos de bombeo* (años), *vida útil depósito-balsa* (años), *horas de funcionamiento* y *precio medio de la energía (€/kWh)*. Al hacer 'click' en *altura de energía*, aparece una nueva ventana en la que se marca si el diámetro de la impulsión es un dato o no, y si lo es se le da su valor en mm. Asimismo hay que indicar los valores del incremento de cotas (m) a superar y de la longitud de la tubería de impulsión (m). Las restantes opciones cuando se seleccionan despliegan una ventana donde hay que indicar el valor correspondiente.

Opción de barra Optimizar

En este menú, operativo después de la preselección de los grupos de bombeo que satisfacen las necesidades máximas de altura de energía y caudal de la red de distribución, se encuentran tres opciones: *Política de bombeo*, *Volumen depósito* y *Suministro eléctrico*. La primera alternativa determina el régimen de bombeo óptimo (características de los grupos motor-bomba, potencia de los grupos, caudal a impulsar en cada hora, número de grupos en marcha, horas de funcionamiento y, momentos de arranque y parada) utilizando para la comparación los grupos de bombeo preseleccionados, cuyas características se muestran en los bloques *Características* y *Costes* y en la malla que se muestra en la ventana principal. Permite también el considerar uno de los grupos con velocidad variable. Las segunda y tercera alternativas optimizan la capacidad del depósito o balsa de regulación y la facturación de la energía eléctrica, respectivamente.

Para el diseño óptimo de un sistema de impulsión y de almacenamiento de agua será necesario la selección de las tres alternativas. Sin embargo, en la gestión de un sistema con unos grupos de bombeo y una tubería de impulsión ya instalados, con o sin depósito de regulación y con un contrato del suministro eléctrico determinado, puede que sólo se quiera conocer el caudal a impulsar en cada hora, el número de grupos de bombeo en marcha, las horas de funcionamiento y los momentos de arranque y parada, y así proceder a la evaluación de los costes. Para este fin, el usuario sólo tendrá que seleccionar la opción *Política de bombeo*, y así se le preguntará por la existencia del depósito de regulación, y si lo hay por su volumen, y por el tipo de contrato del suministro de energía eléctrica. Asimismo en la opción de barra *Bombas*, se seleccionará la alternativa *Único*, ya que se considerará la

combinación de grupos existente en la instalación en estudio, y en la opción de barra *Costes*, se indicará el diámetro de la tubería de impulsión.

Si en la gestión de una red de distribución se quiere conocer la combinación de grupos de bombeo que mejor satisfacen la demanda de agua, en la opción de barra *Bombas* se seleccionará la alternativa *Combinación*, que dará las combinaciones de grupos de bombeo que aportan las necesidades máximas de altura de energía y caudal. Una vez operativa la opción de barra *Optimizar* se seleccionará la alternativa *Política de bombeo*, que es la que determinará la combinación óptima de grupos de bombeo entre las preseleccionadas. Si además se quiere conocer la capacidad más idónea de un depósito de regulación y/o el contrato óptimo del suministro eléctrico con los grupos de bombeo existentes o con los optimizados, se marcará la opción *Volumen depósito y/o Suministro eléctrico*.

Seleccionadas las alternativas por el usuario, se presenta la ventana *Política de bombeo* donde se dan los parámetros necesarios para el diseño y/o gestión óptimos del sistema de impulsión y de almacenamiento de agua, y se muestran los resultados correspondientes.

Opción de barra Resultados

El menú desplegable que resulta al marcar esta opción tiene como alternativas *Preselección grupos bombeo*, *Política de bombeo* y *Término de potencia*. Al seleccionarlas aparece otra ventana donde se pueden abrir los archivos de resultados correspondientes. En la primera alternativa el fichero de resultados, con los grupos de bombeo preseleccionados para unos requerimientos de altura de energía y caudal, tiene el nombre que el usuario indica en el bloque de ventana *Requerimientos de altura de energía y caudal* con la extensión *‘.pum’*.

La alternativa *Política de bombeo* tiene como ficheros de resultados **Poliop_ti.pum**, que señala la combinación óptima de grupos de bombeo, tubería de impulsión, depósito de regulación y contrato del suministro eléctrico, y **Poli_hora.pum**, el cual describe el régimen de funcionamiento de la estación de bombeo que toma el agua de la fuente de suministro. Si hay una estación de bombeo en serie con la anterior (rebombeo), además se tiene el fichero con los grupos de bombeo preseleccionados para esta segunda impulsión (su nombre es el mismo que el usuario le pone al fichero de grupos preseleccionados en la primera impulsión terminado en *‘re’* y con la extensión *‘.pum’*) junto con los ficheros **Poliop_tire.pum** y **Poli_hore.pum**. **Poliop_tire.pum** cuenta con la combinación óptima de grupos de

bombeo y contrato del suministro eléctrico, y **Polihorare.pum** muestra el régimen de bombeo de esta segunda impulsión.

La alternativa *Término de potencia* puede tener, a su vez, uno o dos ficheros de resultados. Si la red de distribución de agua tiene un único punto de suministro de la energía eléctrica se tiene sólo el fichero **Resumen.pum**, y si hay dos puntos de suministro para cada una de las dos estaciones de bombeo, los ficheros son **Resumen1.pum** y **Resumen2.pum**. Estos resultados contienen los modos posibles de facturar la potencia contratada así como las potencias a considerar en la acometida eléctrica. La ventana de esta alternativa permite, a su vez, abrir una nueva ventana en la aplicación donde se indican las potencias óptimas a contratar para cada modo posible de facturar la potencia (apartado VIII.3). En el cuadro A2 se indica la estructura de los ficheros de resultados mencionados.

Opción de barra Ayuda

La opción *Contenido* de este menú permite que el usuario obtenga información respecto a las bases teóricas de la metodología desarrollada en esta aplicación de ordenador y respecto a su manejo. La búsqueda de la información puede obtenerse de una ficha que describe el contenido general o de una ficha índice de palabras clave. La opción *Acerca de...* muestra una caja de diálogo con la información general del programa: nombre, autor, organismo donde se ha desarrollado la aplicación, versión y año.

II. Ventana Política de bombeo

La determinación de la capacidad de almacenamiento, el diámetro de la tubería de impulsión, las combinaciones de grupos de bombeo y el contrato del suministro eléctrico, que permitan establecer una estrategia de bombeo acorde con la discriminación horaria del coste energético y que impliquen costes totales mínimos, se lleva a cabo en este menú operativo una vez que se selecciona en el menú principal la opción *Optimizar*.

Para determinar el régimen de bombeo óptimo hasta el depósito o balsa de regulación se ha desarrollado un algoritmo en el cual se han considerado las siguientes hipótesis de partida: a) se dispone de la demanda horaria de agua durante todo el período de funcionamiento; b) las bombas preseleccionadas en la ventana principal son las que se utilizan para bombear los volúmenes de agua demandados; c) se consideran depósitos cilíndricos y con forma de paralelepípedo de acero galvanizado y hormigón, y depósitos semienterrados de polietileno con forma de tronco pirámide de base cuadrada.

CUADRO A2 Estructura de los ficheros de resultados de la aplicación de ordenador DYGOSIA

| Tipo de fichero | Columnas | Filas |
|--|--|---|
| Grupos motor-bomba preseleccionados: [nombre elegido usuario],pum y [nombre elegido usuario]re.pum | Marca bomba / Tipo bomba / rpm / D rodete (mm) / A (m) / B (h/m ²) / C (h ² /m ⁵) / D (CV) / E (CV h/m ³) / F (CV h ² /m ⁶) / Potencia (CV/bomba) / H _{real} - H _{nec} (m) / n° bombas en paralelo / η (%) / η _{reg} (%) / η _{inst} (%) / Coste inversión (€) / Coste amortización (€/año) / Coste energía (€/año) / Coste total (€/año) | Nº de grupos de bombeo preseleccionados |
| Combinación óptima de grupos de bombeo, tubería de impulsión, depósito y factura eléctrica: Poliopti.pum y Polioptire.pum * En el rebombeo no existen estas columnas | [Grupos de bombeo]: marca / tipo / rpm / n° bombas en paralelo / Potencia (CV/bomba) [Tubería de impulsión]*: material / D (mm) / Longitud (m) / Timbraje (atm) [Depósito]*: volumen total (m ³) / volumen regulación (m ³) / D (m) / altura de agua (m) o [Balsa]*: volumen total (m ³) / volumen regulación (m ³) / L (m) / H1 (m) / H2 (m) [Contrato suministro eléctrico]: tarifa / DH / E / modo facturar potencia [Costes]: coste amortización (€/año), coste energía (€/año), coste total (€/año) | ----- |
| Régimen de bombeo: Polihora.pum y Polihorare.pum | Hora / precio kWh / demanda (m ³ /h) / Vi (m ³) / VRI (m ³) / n / H _{nec} (m) / H _{real} (m) / P _n (CV) / Ps (CV) / P (CV) / η (%) / η _{reg} (%) / η _{inst} (%) [Si hay una bomba de velocidad variable además se añaden las columnas]: n _{BVF} / Q _{BVF} (m ³ /h) / P _{BVF} (CV) / η _{BVF} (%) / n _{BVV} / Q _{BVV} (m ³ /h) / α / N _g (rpm) / P _{BVV} (CV) / η _{BVV} (%) | Horas del periodo de funcionamiento |
| Modos de facturar la potencia y acometida eléctrica: Resumen.pum, Resumen1.pum y Resumen2.pum | [Modos facturar potencia]: potencia-s máxima-s demandada-s / potencia-s facturada-s con potencia-s máxima-s / potencia-s óptima-s a contratar / potencia-s facturada-s óptima-s [Acometida eléctrica]: potencias solicitadas en las inversiones de extensión y responsabilidad | ----- |

rpm = revoluciones por minuto; D = diámetro; A, B, C, D, E, F = coeficientes de las curvas características de altura de energía y potencia; H_{real} = altura de energía que dan las bombas; H_{nec} = altura de energía necesaria en el sistema de distribución; η = rendimiento global; η_{reg} = rendimiento regulación; η_{inst} = rendimiento instalación; L = longitud del lado de la base del depósito; H1 = profundidad de la excavación a realizar para la construcción del depósito; H2 = diferencia entre la altura de agua y la profundidad de la excavación del depósito; DH = discriminación horaria; E = complemento de estacionalidad; Vi = volumen útil almacenado en depósito en la hora i; VRI = volumen de recepción del depósito en la hora i; n = número de grupos motor-bomba funcionando en paralelo; P_n = potencia necesaria; Ps = potencia suministrada; P = potencia absorbida por las bombas; n_{BVF} y n_{BVV} = número de grupos motor- bomba de velocidad fija (BVF) y de velocidad variable (BVV); Q_{BVF} y Q_{BVV} = caudales que trasiegan las BVF y la BVV; P_{BVF} y P_{BVV} = potencias absorbidas por las BVF y por la BVV; η_{BVF} y η_{BVV} = rendimientos de las BVF y de la BVV; α = relación entre la velocidad de giro - N_g - y la velocidad de giro nominal

El fundamento del algoritmo se basa en el concepto de ‘período de vaciado’ que se define como el intervalo de tiempo en cuya hora inicial el depósito o balsa está lleno y en cuya hora final se produce un déficit. El incremento de agua a bombear en la hora de mayor bonificación energética de dicho período está condicionado por: a) el déficit producido al final del período de vaciado; b) el caudal de diseño de los grupos de bombeo; c) el volumen de recepción de agua del depósito o balsa.

Cuando no existen cotas lo suficientemente elevadas para alimentar la red de distribución o parte de ella por gravedad, se recurre a inyectar directamente con bombas escalonadas a la estación de bombeo de toma, que aspiran el agua desde el depósito o balsa de regulación. El número de grupos de bombeo en funcionamiento en cada momento dependerá del caudal demandado. Al igual que en la primera impulsión, se procede a la preselección de los grupos de bombeo que satisfacen las necesidades máximas de caudal y altura de energía.

FIGURA A3 Ventana Política de bombeo de la aplicación de ordenador DYGOSIA

Política de bombeo

Depósitos-balsas (precios)

- Impermeabilizante [pta/m²]: 400 [pta/m²]
- Terreno ocupado [pta/m²]: 11 [pta/m²]
- Movimiento de tierras [pta/m³]: 450 [pta/m³]

Tarifas eléctricas

- Tarifas de baja tensión
- Tarifas de alta tensión
- Tensión de servicio [kV]: 132

Rebombero

- Sin rebombero
- Un punto suministro de energía eléctrica
- Dos puntos suministro energía eléctrica
- Altura de energía [m]: 100
- Caudal[m³/h]: 10800
- Baja tensión
- Alta tensión
- Tensión de servicio [kV]:

Política de bombeo a depósito o balsa regulación

- Tipo de bomba-rodete: 10LHH/26A-560
- Marca: Ingersoll-Dresser rpm: 1480
- Nº de grupos motor-bomba: 8
- Potencia [CV/bomba]: 340
- Tubería impulsión: 1400 mm, 15 atm
- Tipo de tarifa eléctrica: 2.3
- Discriminación horaria: DH3 y E
- Modo facturar potencia: 5A

Balsa de un volumen total de 91000 metros cúbicos

Coste grupos bombeo [pta/año]: 2596802

Coste tubería impulsión [pta/año]: 7358176

Coste depósito o balsa [pta/año]: 1921885

Coste término energía [pta/año]: 25386023

Coste total: 37362886 pta/año (sólo considerar el término de potencia)

Estación de rebombero

- Tipo bomba-rodete: 10LHH/26A-620
- Marca: Ingersoll-Dresser rpm: 1480
- Nº de grupos de bombeo: 7
- Potencia [CV/bomba]: 340
- Tipo de tarifa eléctrica: 2.3
- Discriminación horaria: DH3 y E
- Modo facturar potencia: 5A
- Coste grupos bombeo [pta/año]: 2387118
- Coste término energía [pta/año]: 50605021
- Coste total [pta/año]: 52992139

Cálculo

Bomba:

- Dámetro de rodete: ---
- Nº grupos bombeo: ---
- Tipo de reserva: ---
- Proceso: 100.00.3
- Tiempo transcurrido: 00:04:21
- Horas campaña: ---
- Capacidad (m³): ---
- Consumo eléctrico: ---
- Pasos: ---

Costes totales

- Bombeo de toma:** 37362886 pta/año
- Bombeo de carga:** 52992139 pta/año
- Coste total:** 90355025 pta/año

Buttons: Calcular bombeo de toma, Calcular bombeo de puesta en carga, Gráfica de política de bombeo, Cerrar

Esta ventana tiene siete bloques diferenciados: *Depósitos-Balsas (precios)*, *Tarifas eléctricas*, *Rebombero*, *Política de bombeo a depósito o balsa de regulación*, *Estación de rebombero*, *Cálculo* y *Costes totales*. En los tres primeros se

introducen datos necesarios en la optimización y en los cuatros restantes se muestran los resultados de ésta. Asimismo esta ventana cuenta con cuatro botones: *Calcular bombeo de toma*, *Calcular bombeo de puesta en carga*, *Gráfico de política de bombeo* y *Cerrar* (figura A3).

Bloque Depósitos-Balsas (precios)

Cuando los depósitos a considerar son de chapa o de hormigón, en este bloque sólo está operativo el botón *Terreno ocupado* (€/m^2), ya que junto con el coste del depósito se considera el coste de oportunidad que supone dejar de percibir el beneficio derivado del uso de la superficie de terreno ocupado.

Los otros dos botones, *Impermeabilizante* (€/m^2) y *Movimiento de tierras* (€/m^3), están operativos cuando los depósitos a considerar son semienterrados, siendo el movimiento de tierras, el material de impermeabilización y la superficie de terreno ocupado los tres elementos que de manera sustancial influyen en el coste de la balsa.

Al pulsar cada uno de estos tres botones se despliega una ventana donde se indica el valor a considerar, y aparece en la pantalla junto con el botón correspondiente. Los valores por defecto son de $2,4 \text{ €/m}^2$ para el material impermeabilizante, $0,24 \text{ €/m}^2$ para la superficie de terreno ocupado y $4,2 \text{ €/m}^3$ para el movimiento de tierras. La vida útil del depósito o balsa de regulación a considerar se ha de introducir en la ventana principal en la opción de barra Costes.

Bloque Tarifas eléctricas

La aplicación desarrollada permite seleccionar todas las tarifas eléctricas en baja y alta tensión que se encuentren registradas en el fichero de datos correspondiente (tabla A1), para así comparar las facturaciones de la energía eléctrica en todos los casos posibles. Sin embargo en la práctica sólo se deberá seleccionar una alternativa, ya que la tensión de suministro y el punto de conexión corre a cargo de la empresa eléctrica. Si el suministro es en alta tensión hay que indicar la tensión de servicio (kV) en el cuadro de texto correspondiente, ya que en función del nivel de tensión en el que estemos tendremos distintas tarifas eléctricas posibles.

Bloque Rebombeo

Según el Real Decreto 2949/1982 de Acometidas Eléctricas (B.O.E. 29-12-82) el punto de conexión a la red eléctrica será establecido por la

empresa suministradora, por lo que si hay grupos de bombeo escalonados con la estación de bombeo que toma el agua de la fuente de suministro, se plantea la posibilidad de tener un único punto de suministro de energía eléctrica en el sistema de distribución de agua o de tener dos puntos de suministro, uno para cada una de las estaciones de bombeo consideradas. La primera opción supone la facturación conjunta de la energía eléctrica para ambas estaciones, mientras que la segunda implica tener dos facturaciones diferentes.

Con un único punto de suministro, la tarifa eléctrica óptima para los grupos de bombeo que impulsan hasta el depósito de regulación, es la tarifa a contratar en toda la instalación, por lo que en este bloque sólo hay que marcar la opción *Un punto de suministro de energía eléctrica*, e indicar los valores máximos de altura de energía (m) y de caudal (m^3/h) necesarios en el rebombeo. Con la serie de demanda horaria de agua de esta segunda impulsión (cuadro A1), se probarán todas las combinaciones de grupos de bombeo preseleccionados, eligiendo la de mínimo coste. Si la opción es *Dos puntos de suministro de energía eléctrica*, la aplicación compara todas las combinaciones de bombeo preseleccionadas con todos los tipos de contratos posibles del suministro eléctrico, seleccionando para la segunda impulsión la solución de coste mínimo. En este caso además de indicar las necesidades máximas de caudal (m^3/h) y de altura de energía (m), hay que señalar si este segundo punto de conexión a la red eléctrica es en baja o en alta tensión, y si es en alta también se escribirá la tensión de suministro (kV). En este bloque por defecto aparece marcada la opción *Sin rebombeo* que implica el no tener operativos ningunas de las opciones siguientes.

Botones Calcular bombeo de toma, Calcular bombeo de puesta en carga, Gráfica de política de bombeo y Cerrar

Al pulsar el botón *Calcular bombeo de toma* se inicia el proceso de optimización del sistema constituido por la estación de bombeo que toma el agua de la fuente de suministro, la tubería de impulsión, el depósito de regulación y el contrato del suministro eléctrico, a partir de una demanda horaria de agua conocida. Con el botón *Calcular bombeo de puesta en carga* se inicia el proceso de optimización del sistema constituido por la estación de bombeo que impulsa directamente el agua desde el depósito a la red de distribución y el contrato del suministro eléctrico. El botón *Gráfica de política de bombeo* muestra una nueva ventana con la representación gráfica del esquema de operación óptimo del sistema de impulsión hasta el depósito o la balsa de regulación, siendo el eje de abscisas las horas de funcionamiento del sistema y el eje de ordenadas el volumen a impulsar

en cada hora (m^3/h). Esta ventana tiene a su vez dos botones, uno para imprimir la gráfica y otro para cerrar la ventana. El botón *Cerrar*, como su nombre indica, cierra la ventana *Política de bombeo* para volver a la ventana principal de la aplicación en estudio.

Si no hay estación de rebombeo los botones inicialmente operativos son *Calcular bombeo de toma* y *Cerrar*, y si hay dos estaciones de bombeo en serie además está operativo el botón *Calcular bombeo de puesta en carga*. Una vez que el proceso de optimización ha terminado se pone operativo el botón *Gráfica de política de bombeo*.

Bloque Política de bombeo a depósito o balsa regulación

En este bloque se muestran los resultados más relevantes del proceso de optimización del sistema de impulsión hasta el depósito o la balsa de regulación, presentándose los resultados completos de la combinación óptima de grupos de bombeo, tubería de impulsión, depósito y factura eléctrica en el archivo **Polioppti.pum**, del régimen de bombeo en el archivo **Polihora.pum**, y del modo de facturar la potencia en el archivo **Resumen.pum** o **Resumen I.pum**, dependiendo de la existencia de una estación de rebombeo y del número de puntos de suministro de la energía eléctrica.

Las etiquetas presentadas son: tipo de bomba-diámetro rodete, marca de grupos de bombeo, revoluciones por minuto (rpm), número de grupos motor-bomba en paralelo, potencia de cada motor (CV/bomba), diámetro (mm) y timbraje (atm) de la tubería de impulsión, tipo de tarifa eléctrica, discriminación horaria, modo de facturar la potencia, volumen total del depósito o balsa (m^3), coste grupos de bombeo (€/año), coste tubería de impulsión (€/año), coste depósito o balsa (€/año), coste término de energía (€/año) y coste total (€/año). Este coste total no incluye el coste del término de potencia que se muestra en la ventana *Término de potencia*.

Asimismo en la parte superior derecha de este bloque se representa gráficamente el tipo de reserva de almacenamiento de agua seleccionada en la optimización, indicando sus parámetros de diseño. Luego si es un depósito circular, se señala el diámetro (m) y la altura de agua (m) que ha de tener, y si es una balsa, la longitud del lado de la base (m), la profundidad de la excavación (m), la diferencia entre la altura de agua y la profundidad de la excavación (m), el resguardo (= 1 m), la pendiente exterior (= 2), la pendiente interior (= 3) y la anchura del pasillo de coronación (= 5 m).

Bloque Estación de rebombeo

En este bloque se muestran los resultados más relevantes del proceso de optimización de la impulsión directa a la red de distribución, presentándose los resultados completos de la combinación óptima de grupos de bombeo y del contrato del suministro eléctrico en el archivo **Polioptire.pum**, del régimen de bombeo en el archivo **Polihorare.pum** (en este caso los caudales a impulsar en cada hora siguen la curva de demanda horaria de agua de la red de distribución), y del modo de facturar la potencia en el archivo **Resumen.pum** o **Resumen2.pum**.

Las etiquetas presentadas son: tipo de bomba-diámetro rodete, marca de grupos de bombeo, revoluciones por minuto (rpm), número de grupos motor-bomba en paralelo, potencia de cada motor (CV/bomba), tipo de tarifa eléctrica, discriminación horaria, modo de facturar la potencia, coste grupos de bombeo (€/año), coste término de energía (€/año) y coste total (€/año). Este coste total no incluye el coste del término de potencia que se muestra en la ventana *Término de potencia*.

Bloque Costes totales

Muestra los resultados de los costes anuales optimizados de la estación de bombeo que toma el agua de la fuente de suministro, de la estación de rebombeo en serie con la anterior y de los costes totales de ambas estaciones de bombeo, sin considerar el coste de facturación de la potencia contratada que se presenta en la ventana *Término de potencia*.

Bloque Cálculo

El control del tiempo de ejecución de la optimización se lleva a cabo en este bloque, en el que se indica en tiempo real la combinación de grupos de bombeo, el tipo y volumen de la reserva para el almacenamiento de agua, el tipo de contrato del suministro eléctrico y las horas del periodo de funcionamiento que se están utilizando en el proceso. Además se indica el tiempo de ejecución transcurrido en horas, minutos y segundos, en porcentaje en la etiqueta *proceso*, y gráficamente con una barra de estado.

VIII.3 Ventana *Término de potencia*

Como ya se indicó anteriormente, al hacer 'click' en *Término de potencia* de la opción de barra *Resultados* del menú principal, aparece una ventana

donde se pueden abrir los ficheros de resultados correspondientes así como una nueva ventana que contiene las potencias óptimas a contratar en cada modo posible de facturar la potencia, modos que dependen del tipo de contrato del suministro eléctrico seleccionado como óptimo. Luego esta ventana tiene seis bloques diferenciados que son: *Modo 1 (sin maxímetro)*, *Modo 2 (un maxímetro)*, *Modo 3 (tres maxímetros)*, *Modo 4 (cuatro maxímetros)*, *Modo 5A (estacional)* y *Modo 5B (estacional)*, y seis botones: *Calcular bombeo de toma*, *Calcular bombeo de carga*, *Calcular bombeos de toma y carga*, *Acometida*, *Imprimir* y *Fin* (figura A4).

FIGURA A4 Ventana Término de potencia con los resultados del contrato del suministro eléctrico 1.3 discriminación horaria tipo 3 con posibilidad de un contrato de temporada de 7 meses

The screenshot shows a window titled "Término de potencia" with the following content:

| Modo 1 (sin maxímetro) | Modo 2 (un maxímetro) | Modo 3 (dos maxímetros) | Modo 4 (tres maxímetros) | Modo 5 A (estacional) | Modo 5 B (estacional) |
|--|--|---|--|--|---|
| Potencia contratada: 6050 kW 6050 kW | Potencia contratada: 6063 kW 6524 kW | Potencia contratada en valle: 5510 kW 6718 kW | Potencia contratada en valle: 5799 kW 6039 kW | Potencia contratada en punta en temporada alta: _____ | Potencia contratada en temporada alta: _____ |
| Potencia facturada: 82209 kW 47955 kW | Potencia facturada: 70100 kW 42914 kW | Potencia contratada en llano punta: 4211 kW 5634 kW | Potencia contratada en llano: 5196 kW 5939 kW | Potencia contratada en llano en temporada alta: _____ | Potencia contratada en temporada media: _____ |
| Coste: 22954141 pta/año 19997373 pta/año | Coste: 19487836 pta/año 17895397 pta/año | Potencia contratada en punta: 63246 kW 40346 kW | Potencia contratada en punta: 2162 kW 2378 kW | Potencia contratada en punta en temporada baja y en valle en temporada alta: _____ | Potencia contratada en temporada baja: _____ |
| Contrato de temporada de 7 meses | Contrato de temporada de 7 meses | Coste: 17582564 pta/año 16824524 pta/año | Potencia contratada en valle y en llano en temporada baja: _____ | Potencia facturada: _____ | Potencia facturada: _____ |
| | | Contrato de temporada de 7 meses | Coste: _____ | | Coste: _____ |

Buttons at the bottom:

- Calcular bombeo de toma
- Calcular bombeos de toma y carga
- Calcular bombeo de carga
- Acometida
- Imprimir
- Fin

Con el régimen de bombeo óptimo hasta el depósito de regulación se tiene la distribución óptima de los volúmenes impulsados en cada hora del periodo de funcionamiento, lo que permite determinar la potencia máxima demandada en cada período de discriminación horaria considerado. Con estos valores se prueban las posibles potencias contratadas, desde 1 kW hasta los valores máximos nominales de potencias demandadas, para encontrar aquellos que den la potencia a facturar mínima. Si no hay estación de rebombeo, esto se calcula pulsando el botón *Calcular bombeo de toma* que es el que está operativo junto con los botones *Acometida*, *Imprimir* y

Fin. Al pulsar el botón *Acometida* se abre otra ventana donde se señala las potencias a considerar en las instalaciones de extensión y responsabilidad de la acometida eléctrica. El botón *Imprimir* permite sacar en papel los resultados de la ventana *Término de potencia* y con el botón *Fin* se cierra, volviendo a la ventana principal de la aplicación.

Si hay estación de rebombeo con potencias absorbidas dependientes de la demanda de agua de la red de distribución, y además un solo punto de suministro de la energía eléctrica, se determina/n la/s potencia/s a contratar considerando las potencias simultáneas demandadas por las estaciones de toma y de puesta en carga, estando operativo, por tanto, el botón *Calcular bombeos de toma y carga* junto con *Acometida*, *Imprimir* y *Fin*. Si son dos los puntos de conexión de la energía eléctrica, uno para cada estación de bombeo, se obtiene/n la/s potencia/s a contratar en cada punto de conexión de la red eléctrica, considerando separadamente las potencias demandadas en cada estación de bombeo. En este caso los botones operativos son: *Calcular bombeo de toma*, *Calcular bombeo de carga*, *Acometida*, *Imprimir* y *Fin*.

De este modo, los resultados de las potencias óptimas a contratar y de la potencia óptima a facturar en cada modo posible, función del contrato del suministro eléctrico seleccionado como óptimo, se muestran en los bloques del entorno de la ventana *Término de potencia*. Si hay posibilidad de un contrato de temporada, también se indica en la pantalla (color blanco) junto con los resultados del contrato anual (color rojo) (figura A4). El modo que resulte más económico se indica con una bombilla en la parte superior derecha del bloque correspondiente.