

1.-INTRODUCCIÓN

El término MAEEB significa Desarrollo del Modelo de Análisis de eficiencia Energética de Estaciones de Bombeo (MAEEB). El modelo de simulación desarrollado reproduce el comportamiento de estaciones de bombeo ante demandas de caudal y presión determinadas, permitiendo evaluar su funcionamiento ante cualquier cambio sin tener que llevarlo a cabo en la realidad (Moreno *et al*).

2.-PASOS PARA UTILIZAR MAEEB

En primer lugar hay que hacer doble click en el ejecutable “MAEEB.exe”. Tras unos segundos aparece la siguiente pantalla, en la que debemos hacer click en la pestaña “Empezar” para entrar en el “interface” que nos permite introducir datos y realizar los cálculos correspondientes.



Figura 1.- “Interface” de entrada al programa informático MAEEB.

Para el funcionamiento del modelo, que ha sido implementado en MatLab 7.4, se le deben introducir los siguientes datos en la primera pantalla que aparece: número de bombas, presión de regulación (que es la de consigna, en m), se debe indicar si se tienen los datos medidos de las bombas y las curvas características de las bombas (teóricas o medidas). El archivo que se selecciona para introducir las curvas características debe tener un listado con varios puntos ($Q-H$ y $Q-\eta$) de las curvas características teóricas, pero siempre deben aparecer en el archivo los caudales en orden ascendente; sino pueden crear problemas a la hora de dibujar las curvas características). Cuando se han introducido todos los datos anteriormente mencionados, se cargarán con la pestaña

“Cargar”. Con la opción dibujar curvas características aparecerá un gráfico en el que se pueden observar las curvas características y se indica el punto de funcionamiento.

Figura 2.- “Interface” de datos iniciales

En el siguiente “interface” se debe indicar la distribución de caudales a lo largo de la campaña de riego. Puede ser una distribución estándar (podemos ver el gráfico de distribuciones (Figura 4) , haciendo click en la pestaña “Grafico de distribuciones”, para seleccionar el que se parezca más a la realidad evaluada) si no se ha medido esta distribución. Las diferentes curvas de la distribución de caudales representan la frecuencia con la que cada tamaño de caudal es impulsado por la estación de bombeo a la red. En el caso de que se conociera la distribución real, habría que cargar el archivo csv que contuviera los datos de ésta. Con la opción “Dibuja” aparece un gráfico donde se observa la distribución de caudales real de la campaña de riegos.

En la misma pantalla hay una casilla en blanco donde se debe introducir el caudal demandado en l/s.

Figura 3.- “Interface” de distribución de caudales a lo largo de la campaña de riego.

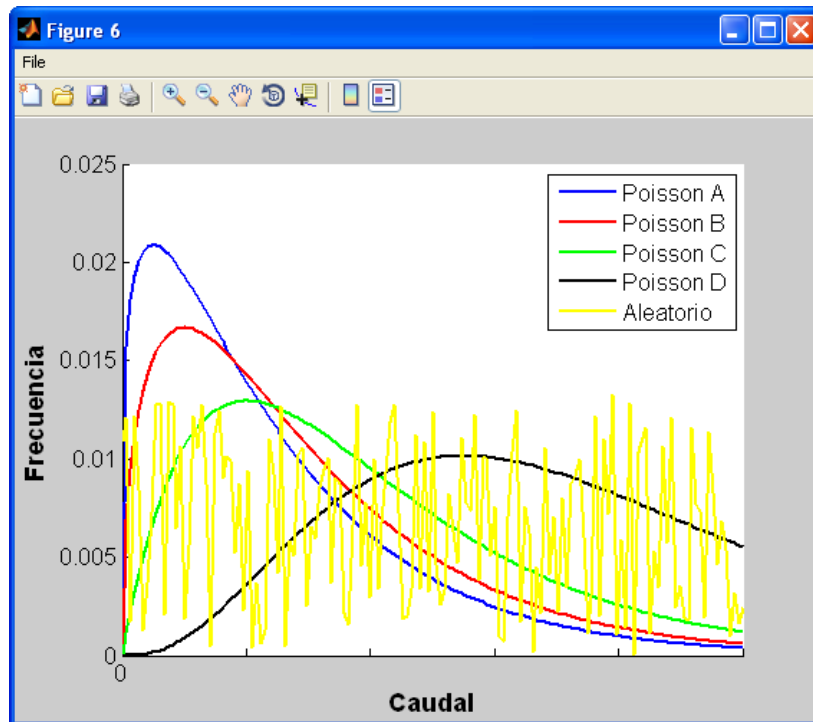


Figura 4.- Gráfico de distribuciones estándar

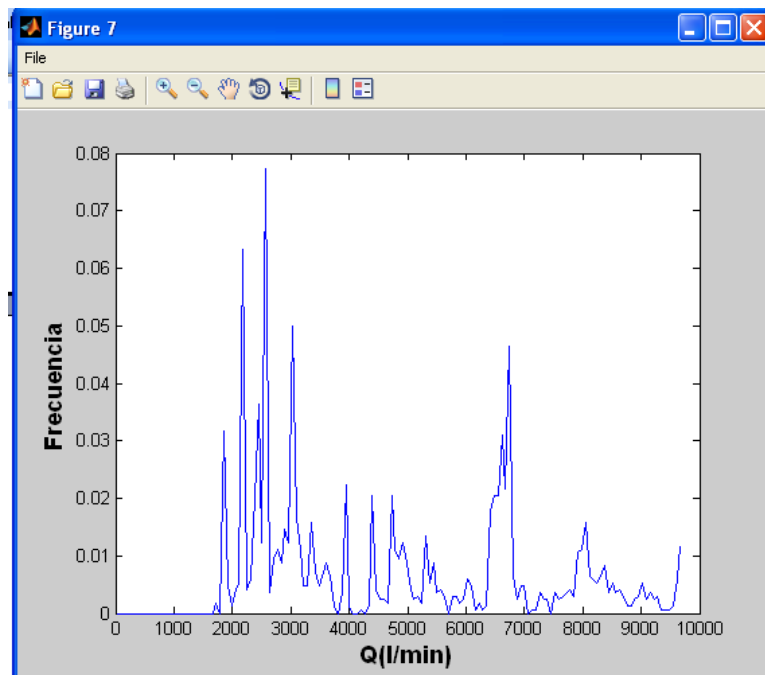


Figura 5.- Ejemplo de un gráfico donde se observa la distribución de caudales real de la campaña de riegos.

Una vez que tenemos cargada la distribución real de caudales o indicada la teórica e introducido el caudal demandado se hace click en “siguiente”.

En el siguiente “interface” el modelo permite el estudio de tres opciones de regulación:

- 1.-Mediante un sólo variador de velocidad.
- 2.-Mediante dos variadores de velocidad, con un accionamiento simultáneo.
- 3.-Mediante dos variadores de velocidad, con un accionamiento secuencial y determinando el caudal máximo de las bombas accionadas con variador de velocidad para maximizar el rendimiento en el acoplamiento de las bombas. (Moreno *et al*).

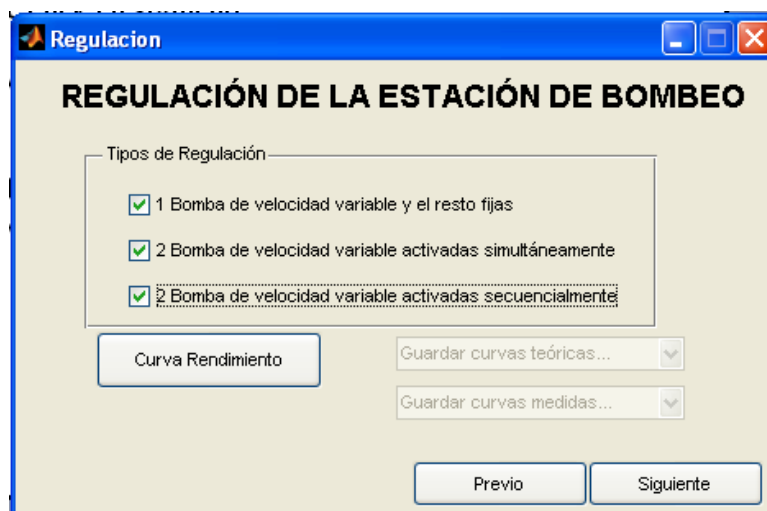


Figura 6.- “Interface” de las opciones de regulación de la estación de bombeo

Se han considerado estas opciones de regulación ya que en otros trabajos se establecen como idóneas para mejorar la eficiencia energética de estaciones de bombeo ya instaladas (Planells et al. 2005, Moreno 2005).

Al pulsar “Curva Rendimiento” aparecerá un gráfico en el que se muestra cómo varía el rendimiento de la estación de bombeo en función del caudal para cada una de las opciones elegidas de las anteriormente mencionadas. Aquí te da la opción de guardar tanto las curvas teóricas como las medidas.

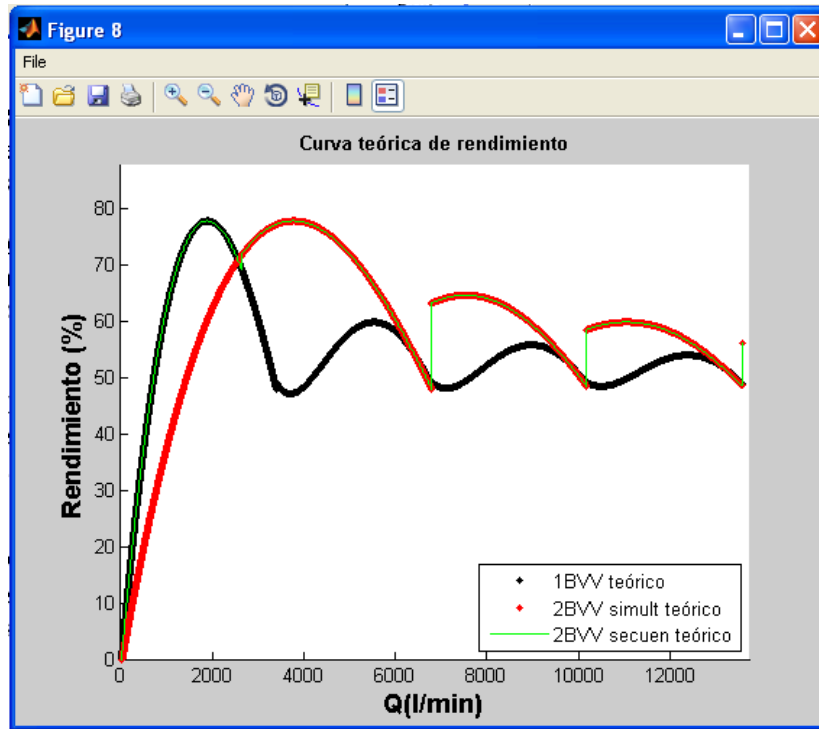


Figura 7.- Ejemplo de un gráfico donde se observa la variación del rendimiento de la estación de bombeo en función del caudal, para las tres opciones de regulación.

Con la distribución de caudales durante toda la campaña de riego y el rendimiento de la estación de bombeo para cada caudal, se puede calcular la potencia media absorbida (kW) para la campaña de riegos (N_{abs}), teniendo en cuenta la frecuencia de cada caudal (f_i).

Para determinar la opción de regulación energética óptima MAEEB calcula el rendimiento medio y la potencia media absorbida de la estación de bombeo para las tres opciones de regulación mediante las fórmulas (1) y (2) respectivamente.

$$\eta_m = \eta_i \cdot f_i \quad (1)$$

$$\overline{N_{abs}} = \sum_{i=1}^n \frac{9,81 \cdot Q_i \cdot H_i}{\eta_i} f_i = \sum_{i=1}^n (N_{Qi} \cdot f_i) \quad (2)$$

Donde: f_i es la frecuencia del Q_i (tanto por uno), obtenida de la distribución de caudales; H_i es la presión en el intervalo de caudal i (m.c.a); η_i es el rendimiento total en el intervalo de caudal i (tanto por uno).

Finalmente, en “RESULTADOS”, el programa presenta o te puede presentar tanto los “Resultados con curvas teóricas” como los “Resultados con curvas medidas”, y en cada apartado el rendimiento medio y la potencia media absorbida para cada una de las posibles regulaciones seleccionadas. Simplemente se debe pulsar el botón “Calcula” y se mostrarán los resultados en los recuadros azules.

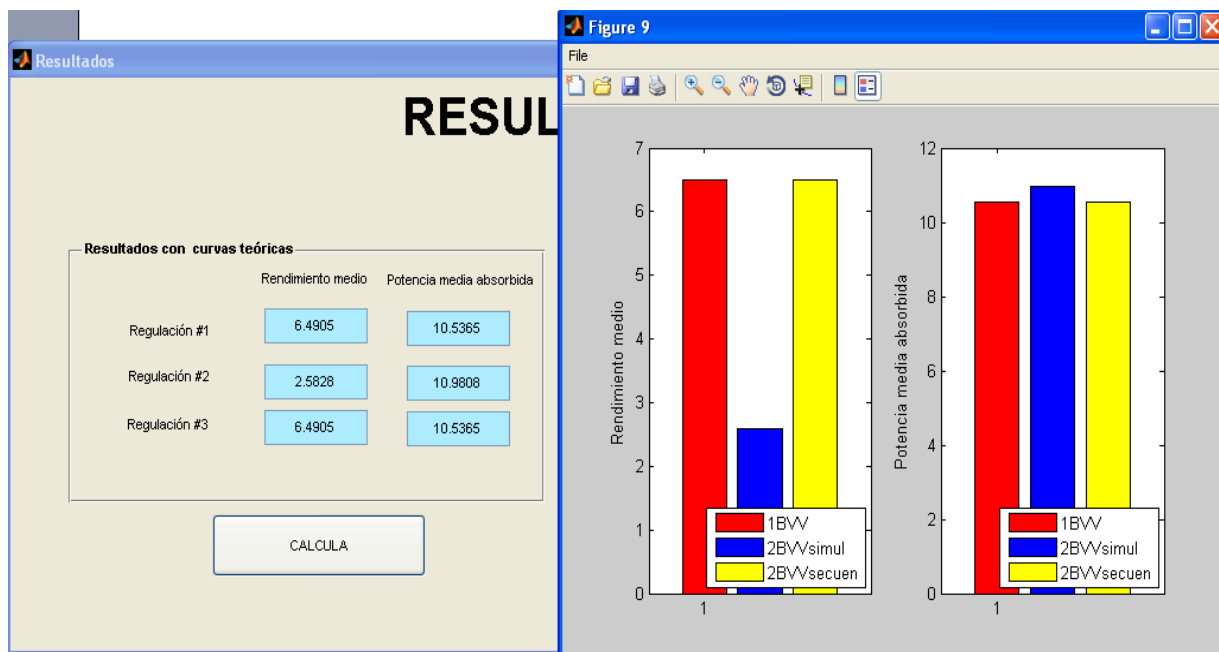


Figura 8.- "Interface" de resultados gráficos y numéricos.

3.-EJEMPLO REAL

3.1.-Datos de la Estación de bombeo de la S.A.T. La Pinada

En 2003 se inició la transformación de 2100 hectáreas de regadíos sociales en la comarca conquense de La Grajuela, situada entre los municipios de Casas de Guijarro, Casas de Benítez, Pozoamargo y Sisante. La zona regable se compone de cinco S.A.T. (Sociedad Agraria de Transformación): La Chocilla, El Poleo, La Pinada, La Ysilla y La Risquilla; que desde el año 2005 comenzaron a utilizar las instalaciones, siendo los principales cultivos regados viña, olivos, almendros y ciertos hortícolas. Los nuevos regadíos de La Grajuela son un estandarte de redes colectivas de riego a la demanda totalmente automatizadas, desde la captación de aguas subterráneas hasta el riego en parcela (casi exclusivamente localizado), pasando por la regulación mediante embalses, las estaciones de filtrado, las estaciones de bombeo, y el resto de instalaciones.

El modelo desarrollado se aplicó a la estación de bombeo de la S.A.T. La Pinada que está compuesta por 4 bombas iguales con las características que se exponen en la tabla 1. Dos de las bombas disponen de variador de velocidad y las otras dos de arrancadores electrónicos para su maniobra. Sin embargo, uno de los variadores de velocidad actúa como arrancador electrónico, por lo que realmente, la secuencia de activación de bombas es una bomba de velocidad variable y el resto fijas.

Marca	INDAR®
Tipo de bomba	Electrobomba sumergida
Modelo bomba	252-2
Motor	18-3/068
Potencia (kW)	36
Frecuencia (Hz)	50
Velocidad de giro (r.p.m.)	2900

Tabla 1.-Características de las bombas de la estación de bombeo de la S.A.T. La Pinada.

Las bombas se localizan en el interior de una campana de aspiración con un nivel de agua que permite su correcta aspiración. El colector de aspiración está enterrado a 6 m, por lo que se dispone de la correspondiente columna de impulsión de acero helicoidal soldado, unido mediante bridas a la bomba.

En la tubería de impulsión, a la salida de la campana de aspiración, hay una válvula de mariposa, que permite el aislamiento de la bomba del resto de la red, un manómetro de glicerina y una válvula de retención de clapeta partida.

La regulación de la estación de bombeo es de tipo manométrica, mediante la instalación de un transductor de presión conectado al colector de impulsión, de forma que manda una señal eléctrica entre 4 y 20 mA, en un rango proporcional de 0 a 10 bar., a un autómata programable fijando la presión de salida a 45 m.c.a., pretendiendo asegurar una presión mínima a nivel de hidrante de 25 m.c.a.

La determinación de la presión de consigna mínima para disponer de 25 m.c.a. en los hidrantes se realizó mediante la simulación hidráulica de la red de riego con el programa EPANET 2.0. ante distintos escenarios de demanda de la red que se muestra en la figura 2.

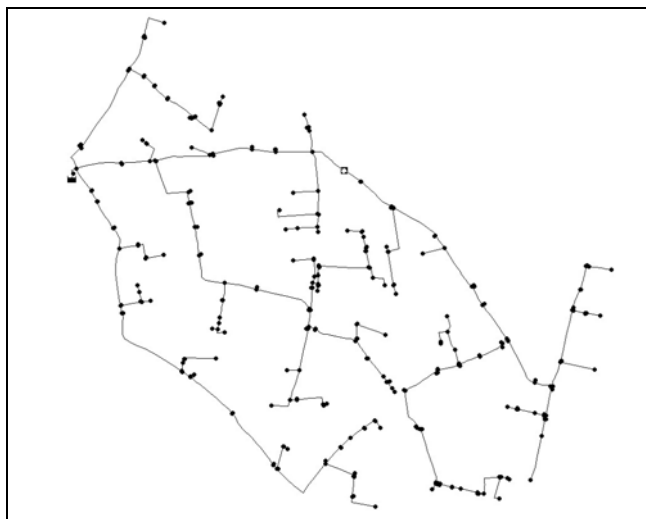


Figura 9.-Red de riego de la S.A.T. La Pinada.

3.2.-Resultados

3.2.1.-Selección de las bombas

Los datos iniciales de la estación de bombeo son los que se muestran en la siguiente figura:

Datos

DATOS INICIALES

Paso I: Características estación de bombeo

Número de Bombas

Presión de regulación (m)

Paso II: Mediciones

¿Tienes datos medidos de las bombas?

☒ Sí

☐ No

Paso III: Tipo de Bomba

Busca Bomba...

Cargar

Dibujar curvas características

Siguiente

Figura 10.-Datos iniciales de la estación de bombeo.

Al seleccionar la bomba, en el archivo de importación, las tres columnas de caudal, altura manométrica y rendimiento deben quedar en ese orden, de izquierda a derecha y además, la primera columna (caudales) debe contener todos sus valores en orden ascendente, de arriba a abajo, tal y como se muestra en la siguiente figura.

Import Wizard

Select Column Separator(s)

☒ Comma ☐ Space ☐ Semicolon ☐ Tab ☐ Other

Number of text header lines:

Preview of C:\Documents and Settings\jmguel\Escritorio\MAEEB PROGRAMA\Bombas\INDAR252-2.csv

	1	2	3
1	0	82	0
2	150	81.8000	9
3	300	81.6000	18
4	450	81.2000	27
5	600	81	34
6	750	80.4000	41
7	900	79.8000	47
8	1050	79	52.5000
9	1200	78	57.5000
10	1350	77	62.5000
11	1500	75.8000	67
12	1650	74.8000	70
13	1800	73.6000	73
14	1950	72	76.5000
15	2100	70.5000	78
16	2250	68.4000	78.5000
17	2400	66.4000	79
18	2550	63.6000	78
19	2700	60	75
20	2850	56.4000	70
21	3000	51.8000	65

Help < Back Next > Finish ☐ Generate M-code Cancel

Figura 11.-Puntos teóricos de las curvas características de la bomba seleccionada.

Si en el proceso de importación de los datos de la bomba faltan valores de la parte izquierda respecto a los que aparecen en las tres columnas del lado derecho, será

debido seguramente a las comas y puntos; siempre se debe utilizar punto como decimal y coma para indicar los millares.

La figura 5 muestra el punto de funcionamiento de la bomba para la presión de consigna mínima (45 m.c.a.) que garantiza una presión de 25 m.c.a. en hidrante, calculada mediante el modelo hidráulico de la red. Estas curvas se obtienen haciendo click en “Dibujar curvas características”.

Se puede observar que el punto de funcionamiento no es el adecuado ya que la presión de consigna es muy baja. Por lo tanto, se puede determinar que las bombas en esta estación de bombeo están sobredimensionadas para la demanda actual. Esto se debe a que en la fase de diseño la red de riego se calculó para que pudiesen regar todas las parcelas de la zona, no llevándose a cabo finalmente el 100% de la transformación a regadío, quedando la estación de bombeo sobredimensionada para la demanda actual, pero asegurando el funcionamiento ante una previsible ampliación (Moreno *et al*).

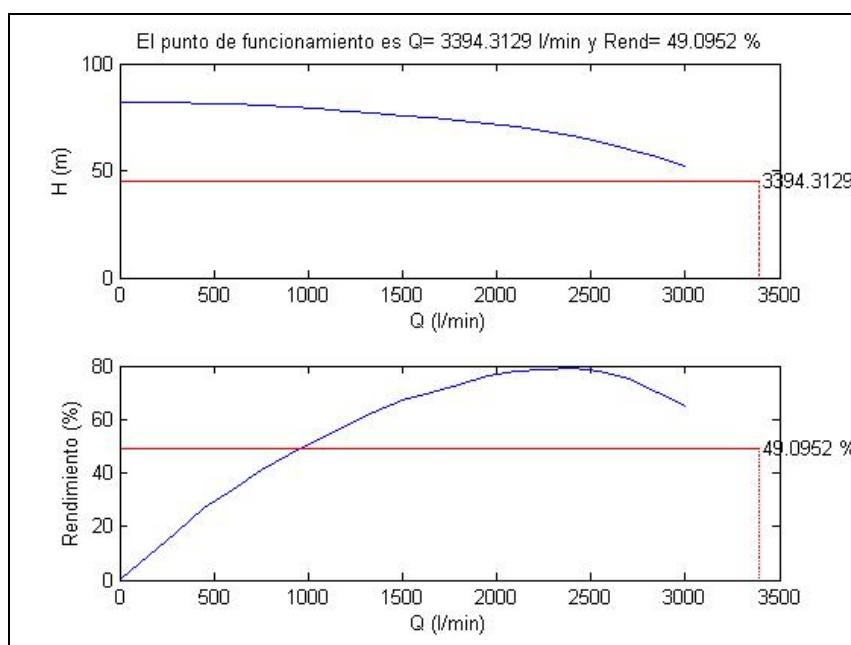


Figura 12.-Punto de funcionamiento de las bombas fijas.

Como se observa en la figura 5, el rendimiento es del 49.10% que provoca una baja eficiencia energética.

3.2.2.-Distribución de caudales demandados

Como se comentó en la metodología, la distribución de caudales es un aspecto clave para conocer el tipo de regulación que obtiene mejor eficiencia energética. En la S.A.T. La Pinada se tomaron medidas de la distribución de caudales en la campaña 2006 con el resultado mostrado en la figura 6.

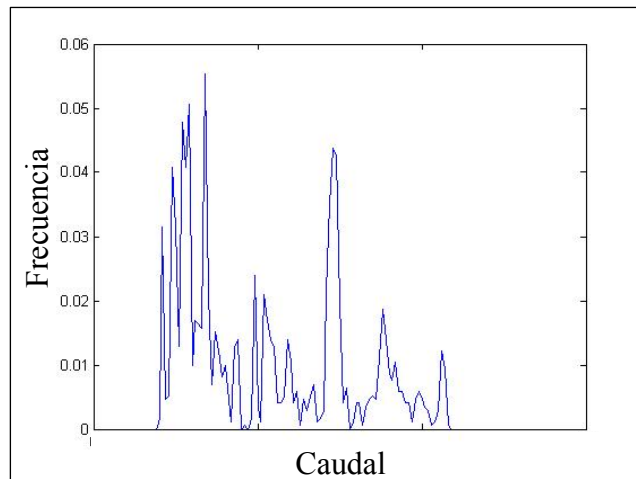


Figura 13.-Distribución de caudales suministrados por la estación de bombeo de S.A.T. La Pinada (Campaña de riego 2006).

Se puede observar una mayor presencia de caudales medios y bajos, y ausencia de caudales altos. Esto determinará que la mejor regulación sea aquella que asegure una alta eficiencia para caudales medios y bajos.

Para ver el gráfico anterior se habrá tenido que indicar en el interface siguiente la opción “Distribución medida”, se habrá buscado el archivo que guarda los datos de esta distribución y finalmente se habrá hecho click en la opción “Dibuja”.

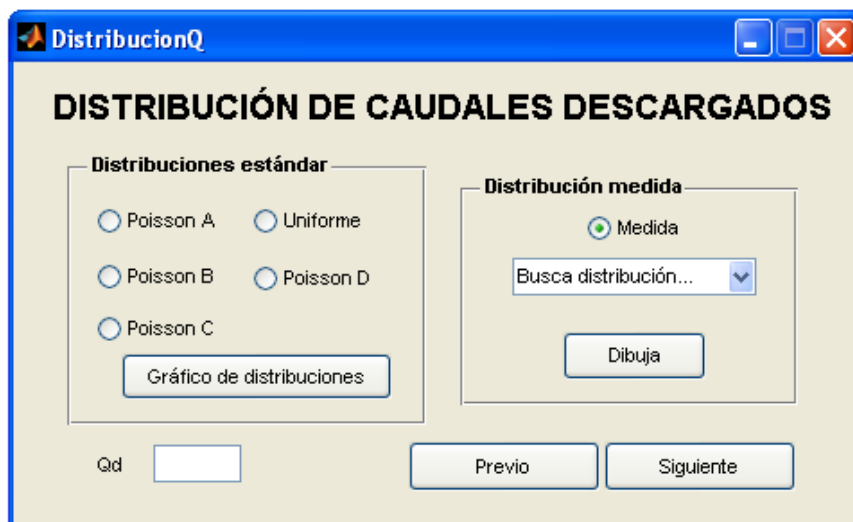


Figura 14.-Opciones de distribución de caudales descargados.

3.2.3.-Secuencia de activación de las bombas

El modelo deja a elección del usuario las tres opciones de regulación que se proponen para una optimización de la eficiencia energética (figura 8).

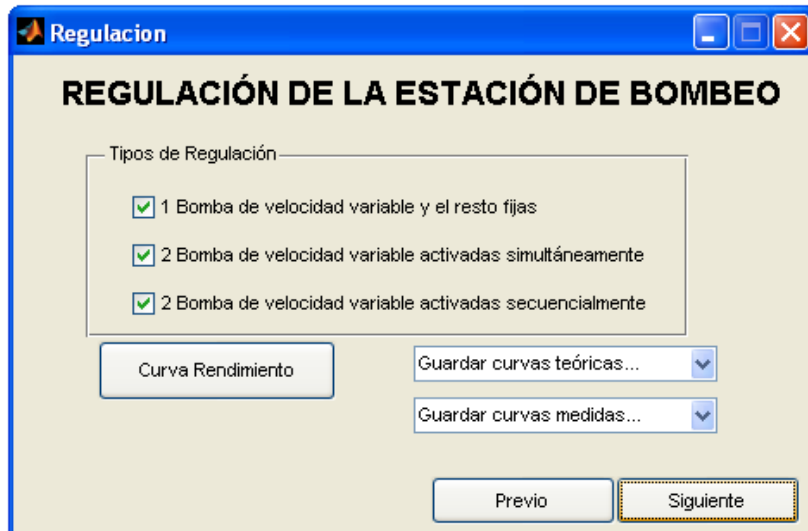


Figura 15.-Opciones de regulación en MAEEB.

En la figura 9 se muestra la evolución del rendimiento de la estación de bombeo con el caudal para las 3 opciones de regulación, que se obtiene una vez seleccionadas las tres posibilidades, mediante la pestaña “Curva rendimiento”.

Se puede observar que con la regulación 1 (línea negra), se obtienen altos rendimientos para bajos caudales, pero el rendimiento disminuye drásticamente en el acoplamiento de las bombas fijas. La opción 2 (línea roja) resuelve el problema en el acoplamiento de las bombas fijas, pero empeora el rendimiento para bajos caudales. La opción 3 (línea verde) integra las características favorables de ambos tipos de regulación, siendo por lo tanto la opción más favorable (Moreno *et al*).

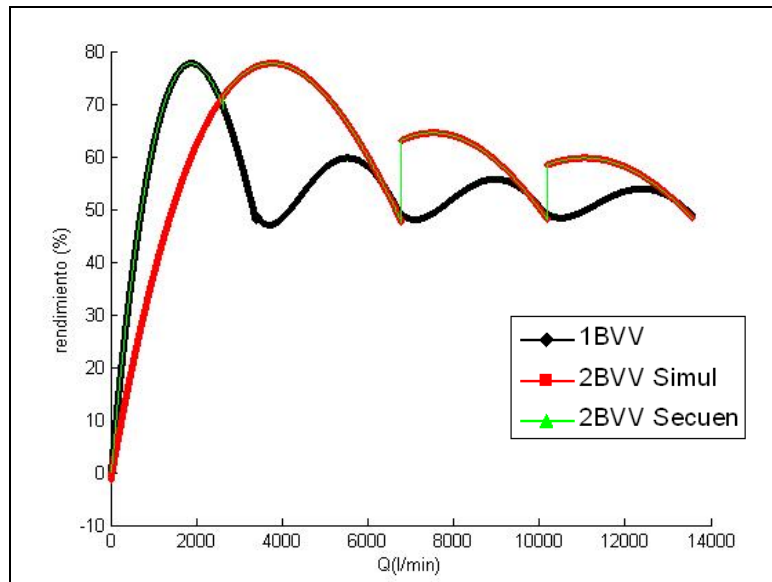


Figura 16.-Representación del rendimiento medio la estación de bombeo en función del caudal, de los tres tipos de regulación.

El rendimiento medio, así como la potencia media absorbida de la estación de bombeo, se pueden ver reflejados tanto como resultado numérico como gráfico de

barras como muestra la figura 10. Para obtener estos resultados, únicamente habrá que clicar la pestaña “CALCULA”.

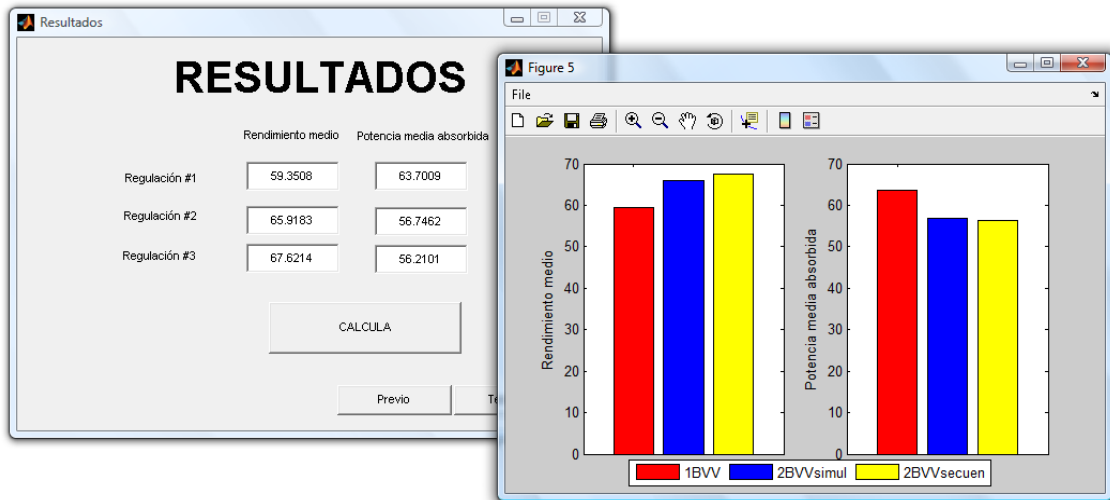


Figura 17.-Resultados numéricos y gráficos de rendimiento y potencia para los distintos tipos de regulación.

Se puede observar que con un sencillo cambio en el tipo de regulación y sin realizar ninguna inversión, se puede obtener un ahorro energético de un 11.75%. (Moreno *et al*).

3.2.4.-Evolución del rendimiento y de la potencia media absorbida con la presión de consigna

La evolución del rendimiento medio y de la potencia media absorbida para distintas presiones de consigna y para los tres tipos de regulación se puede observar en las figuras 9 y 10 respectivamente.

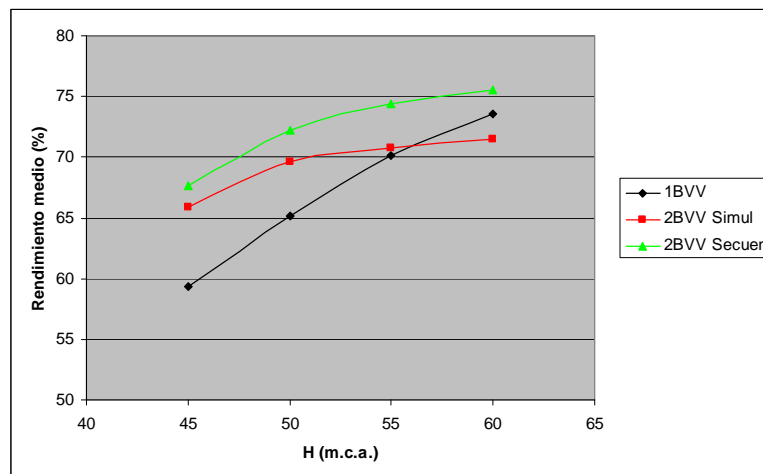


Figura 18.-Evolución del rendimiento medio de la estación de bombeo con la presión de consigna para los tres tipos de regulación considerados.

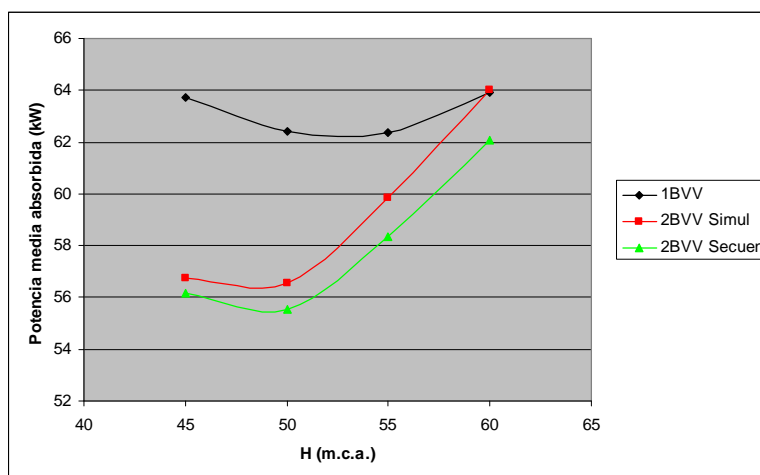


Figura 19.-Evolución de la potencia media absorbida de la estación de bombeo con la presión de consigna para los tres tipos de regulación considerados.

Se puede observar que la opción de regulación que considera dos bombas de velocidad variable activadas de forma secuencial es siempre más eficiente que el resto. Destaca la evolución de la potencia media absorbida con la regulación 1, ya que a pesar de que se incrementa la presión de consigna, la potencia media absorbida decrece por la mejora del rendimiento de la estación de bombeo, estableciendo el mínimo entorno a 55 m.c.a. Para las otras dos regulaciones la mínima potencia se obtiene a 50 m.c.a.

Por lo tanto, la medida más eficiente, es optar por la regulación 3 y el aumento a una altura manométrica a 50 m.c.a., obteniéndose un ahorro energético de un 12.78% sobre la regulación actual, con la ventaja de disponer una mayor presión en cabecera incrementando notablemente la garantía de suministro de la red (Moreno *et al*).

5.-CONCLUSIONES

El modelo presentado es de utilidad para determinar la mejor opción de regulación en estaciones de bombeo. Simples cambios en este tipo de regulación sin llevar a cabo inversiones importantes pueden determinar una estrategia de ahorro energético que repercuta directamente sobre la economía de los agricultores y sobre el uso sostenible de los recursos energéticos.

Con sencillas modificaciones en la regulación de la estación de bombeo de La Pinada se puede obtener un ahorro energético de hasta un 12.78% sin proceder a ninguna inversión.

3.-BIBLIOGRAFÍA

- Moreno M.A.; Pelayo J.; Córcoles J.I.; Planells P.; Carrión P.A.; Tarjuelo J.M., 2007. *Model for análisis of energy efficiency at Pumping Stations*. Tenth Inter-Regional Conference on Water and Environment (Envirowat 2007). India.
- Moreno M.A. (2005). *Análisis hidráulico y energético de redes de riego a la demanda*. Tesis Doctoral. Centro Regional de Estudios del Agua. Universidad de Castilla- La Mancha.

- Planells P., Carrión P.A., Ortega J.F, Moreno M.A., Tarjuelo J.M. (2005). *Pumping selection and regulation for water distribution networks*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 131(3):273-281.