

PROGRAMA PARA ELABORACION DE PROYECTOS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO. CASO ISLA TAQUILE - PUNO

Rafael Espinoza Paredes
Ivo René Salazar Taute

Centro de Energías Renovables, Universidad Nacional de Ingeniería

RESUMEN

El presente trabajo refiere a un programa elaborado como herramienta de ayuda para quienes necesitan realizar un cálculo de costos y determinar el tamaño de los distintos equipos y cantidades de materiales pertinentes a un proyecto de bombeo de agua con energía fotovoltaica.

El programa es de fácil manejo, presentando un Menú con Ingreso de Datos, Presentación de Resultados, Impresión de Resultados, Salir (Fig. 2).

Se presenta, a su vez la aplicación al caso de la Isla de Taquile - Puno (bombeo de 24 m³/día y 200 m de altura total) para determinar el tamaño y costo de un proyecto de bombeo fotovoltaico demostrando la utilidad del programa.

ABSTRACT

The present article is about a program, witch is a powerful tool to help persons who need to make calculations of costs and to determine the size of many equipment and the quantities of pertinent materials for a project fulfillment of water pump with fotovoltaic energy.

This program is easy to operate, and it shows a Menu with Entrance of data. Presentation of results, Print of results, Quit (Fig. 2).

This program is based on the case of Taquile's Island - Puno (pump of 24 m³/day and 200 m of total height) in order to determinate the size of the fotovoltaic pump project, demonstrating the utility of the program.

INTRODUCCION

Como se sabe el agua constituye un elemento imprescindible para la subsistencia del ser humano. Para los requerimientos de higiene personal y la prevención de enfermedades que son muy comunes entre las poblaciones rurales, resulta igual de importante.

En muchos poblados del Perú los recursos hídricos resultan ser insuficientes o de difícil acceso, realidad que les hace casi inalcanzables para el hombre del ámbito rural. Si a esto agregamos la inexistencia de energía eléctrica de cualquier origen que permita el funcionamiento de un sistema de bombeo de agua desde pozos, lagos o ríos, la realidad se torna verdaderamente crítica.

En las zonas rurales donde no hay suministro de energía mediante la red pública, generalmente se usan bombas manuales o motobombas, las primeras requieren la

presencia de un operario durante el bombeo y su capacidad no permite mover eficientemente grandes cantidades de agua ni elevarlas a alturas superiores; de otro lado, las motobombas accionadas con diesel tienen elevado riesgo de quedar fuera de operación por defectos técnicos o por falta de combustible.

Por estos motivos, entre otros, se requiere desarrollar alternativas que permitan que la tecnología usada para el bombeo de agua tenga mayor autonomía, operatividad, bajo mantenimiento y sobre todo que sea confiable y sostenible.

En este contexto es necesario recurrir a fuentes de energía y tecnologías alternativas como la fotovoltaica, que permiten transformar luz solar en energía eléctrica necesaria, en este caso, para el bombeo de agua.

DESARROLLO

El programa para la elaboración de proyectos de bombeo fotovoltaico ha sido elaborado en el entorno del Excel, el cual es un programa que emplea hojas de cálculo y permite la programación mediante el uso de macros. Este programa hace fácil el manejo de tablas y además permite la programación estructurada.

En *Ingreso de datos* solicita información variada mediante la opción de cambio de pantallas. La segunda y tercera pantalla solicita información de la localidad y del medio ambiente (datos meteorológicos, geográficos, del agua, disposición de los componentes, etc.) (Fig. 3 y 4). La cuarta pantalla solicita determinar que tipo de sistema ha de emplearse en el diseño (Fig. 5). La quinta pantalla solicita información técnica (Fig. 6). La sexta pantalla solicita información económica (Fig. 7). La séptima pantalla solicita decidir si requiere una solución adicional y la octava pantalla solicita decidir si quiere observar el comportamiento del sistema en el transcurso de un año.

Una vez decidido el tipo de sistema (con interfase, con baterías o de accionamiento directo) a emplearse en el diseño, el programa realiza la siguiente secuencia:

- Ingreso de datos y recomendación de algunos valores según sea el caso (Ej.: radiación solar para el lugar del proyecto)
- Cálculo del diámetro económico de la tubería de agua y la potencia hidráulica.
- Cálculo de la potencia de diseño teniendo en cuenta las eficiencias hidráulica, mecánica, eléctrica y electrónica.
- Selección y cálculo de la cantidad de módulos fotovoltaicos para cubrir la demanda.
- Selección de la interfase entre el arreglo fotovoltaico y la bomba (si lo requiere).
- Selección de cables eléctricos y tuberías.
- Metrado, análisis económico para la vida útil del proyecto, costo de energía mensual y costo por m⁴.
- Cálculo iterativo del parámetro US\$/m⁴ empleando el método de aproximaciones sucesivas.
- Presentación de resultados técnicos y económicos.

- Cuadros comparativos.

La **Presentación de Resultados** esta compuesta por dos partes:

- a) Las pantallas de Resultado Técnico, donde se describe cada uno de los componentes con sus respectivas características y cantidades (Fig. 10). También se ha incluido algunos resultados comparativos entre dos alternativas técnicas de bombeo para el mismo requerimiento y el abastecimiento del agua durante el año.
- b) Las pantallas de Resultado Económico, que muestran el costo desagregado de cada uno de los componentes, los costos de inversión y costos por consumo de energía para satisfacer los requerimientos con las características del entorno de la localidad a ser evaluada (Fig. 11 y 12).

En la Fig. 1 mostramos el diagrama de bloques que representa la lógica empleada en el programa de cálculo del sistema de bombeo de agua.

EJEMPLO DE CALCULO

A continuación mostramos el caso Isla Taquile (1^{ra} etapa) y las pantallas que aparecerían .

Es pertinente mencionar que la Isla Taquile se eleva hasta 200m sobre los 3 812 msnm que corresponden al nivel de superficie del lago Titicaca del departamento de Puno y la radiación solar promedio es de 5,6 KW/m²-día en la época de Junio – Julio, época de lluvias escasas.

El sistema de bombeo estaría ubicado en la parte norte de la Isla en un lugar denominado Estancia. La altura total de bombeo es cercana a 200 m y no existen (hasta hoy) “bombas solares” con esta capacidad, por este motivo se decidió por un sistema de dos etapas, la primera de las cuales esta caracterizada por: bombeo de 24 m³/día a 100 m de altura estática y 335 m de longitud de tubería. En esta primera etapa se ha visto la posibilidad de distribuir 9 m³ de agua a las viviendas que se encuentran debajo de los 100m, consecuentemente la segunda etapa consistirá en el bombeo de 15 m³/día y altura estática de 90 m aproximadamente.

En la isla Taquile ya se instaló un sistema de bombeo que funciona con energía eléctrica generada por un grupo electrógeno pero por falta de mantenimiento, la dificultad de conseguir el combustible y la sensibilidad de este equipo con los campos electromagnéticos producido por los rayos está inoperativo hasta la actualidad. Por este motivo se plantea el empleo de una nueva fuente de suministro de energía como es la energía fotovoltaica.

Se plantea aprovechar parte de la infraestructura existente para el nuevo sistema que se propone, por ejemplo las cisternas y los tanques.

A continuación mostramos la prueba de consistencia realizada con el programa para la primera etapa del sistema de bombeo en la Isla Taquile y para la forma de presentación más sencilla por razones de espacio.

Para ingresar al programa debe abrirse el archivo con nombre: "Programa Para Elaboración de Proyectos de BF". El programa inmediatamente comenzará a ejecutarse.

Para el ingreso de los datos presentados se debe colocar el cursor sobre cada casillero en blanco mediante el uso del mouse o el teclado presionando la tecla subrayada según el rubro a ingresar o mediante la tecla "Tab" para "saltar" de rubro en rubro.

La primera pantalla es el menú de ingreso, las cuatro siguientes pantallas corresponden al ingreso de distintos tipos de información por parte del usuario y las siguientes 3 pantallas son los resultados técnicos y económicos del caso presentado.

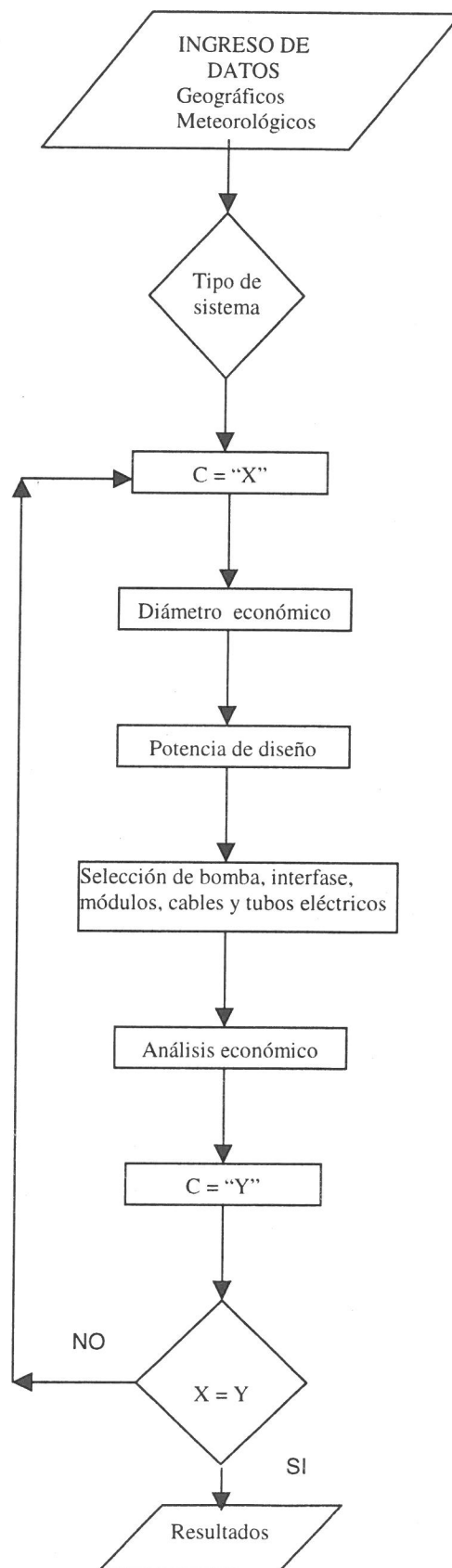


Fig. 1 Diagrama de flujo operativo correspondiente al programa de cálculo del sistema de bombeo

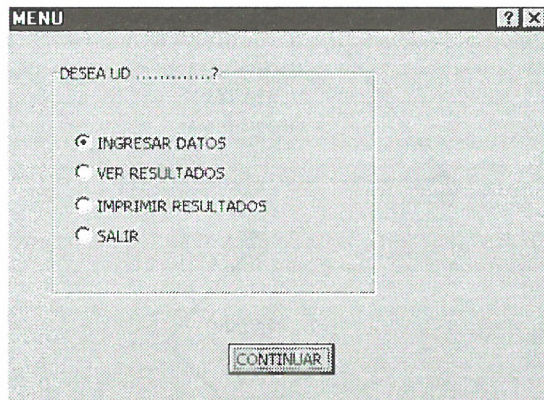


Fig. 2 Pantalla de Menú de Ingreso

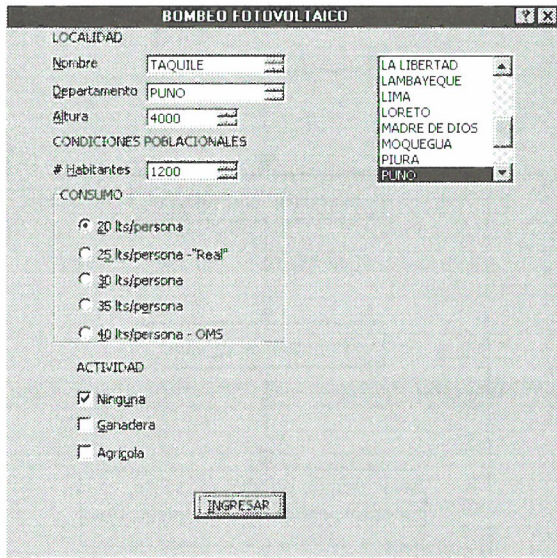


Fig 3. Pantalla informativa de la localidad

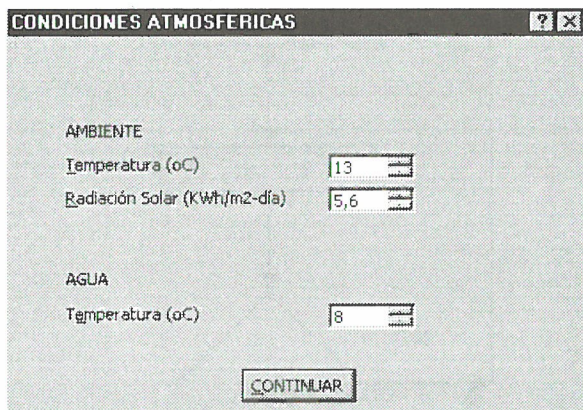


Fig. 4 Pantalla de ingreso de condiciones atmosféricas

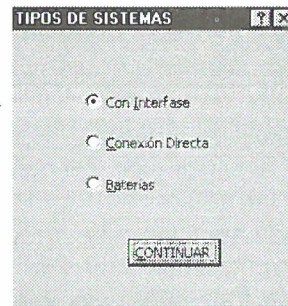


Fig. 5 Pantalla de decisión del tipo de sistema a emplear

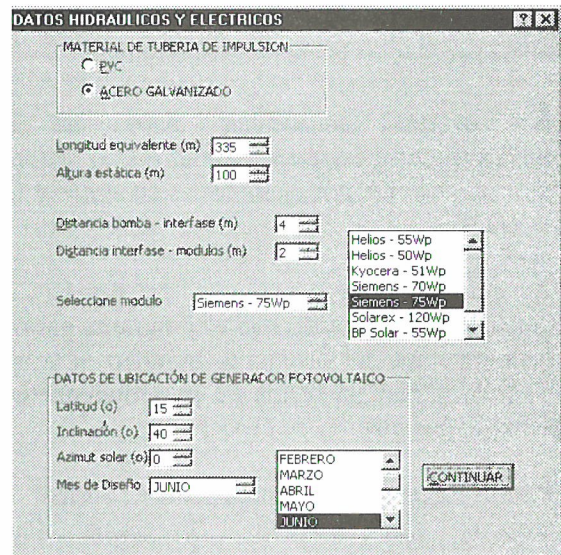


Fig. 6 Pantalla de ingreso de información técnica

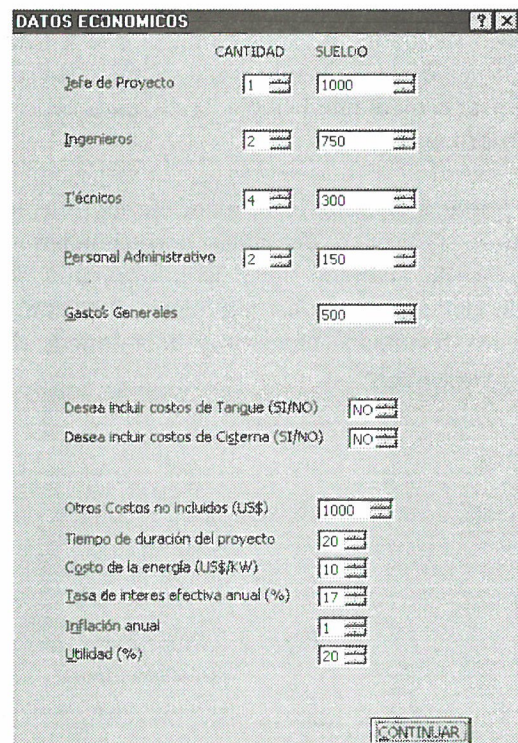


Fig. 7 Pantalla de ingreso de información económica

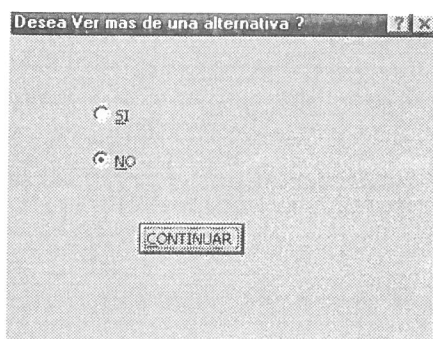


Fig. 8 Pantalla de decisión para ver mas de una solución

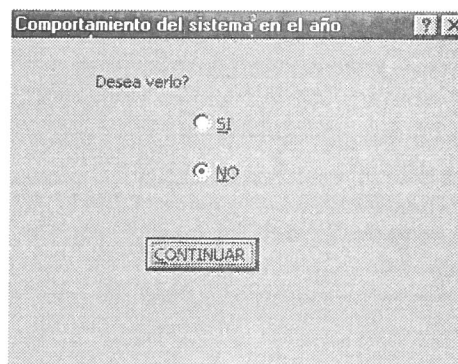


Fig. 9 Pantalla de decisión para mostrar el comportamiento del sistema de bombeo fotovoltaico diseñado durante el año

RESULTADOS TÉCNICOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BOMBEO CON INTERFASE	
BOMBA	
MARCA	Grundfos
MODELO	SUNSUB 2000
CLASE	Sumergible
POTENCIA HIDR. (HP)	0,68
ALTURA TOTAL (m)	101,2
VOLTAJE (v)	230
BOMBEO	
CALIDAD	1,42
BOMBAS POR ETAPA	3
No. DE ETAPAS	1
VOLUMEN (m3)	24
TUBERIA DE AGUA	
MATERIAL	Acero Galvanizado
DIAMETRO (pulg)	2,5
CLASE	Estándar
REGULADOR \ INVERSOR	
MODELO	TSP 2000
POTENCIA (HP)	2
VOLTAJE (V)	170
MODULOS SOLARES	
MARCA	Siemens
POTENCIA	75
CANTIDAD/BOMBA	22
CABLES ELECTRICOS	
BOMBA - INTERFASE	0,75mm ²
INTERF. - COND. MODULOS (AWG)	18
CONJUNTO DE MODULOS (AWG)	16
TUBERIA ELECTRICA	
BOMBA - INTERFASE (pulg)	1
INTERFASE - MODULOS (pulg)	1

Fig. 10 Pantalla de resultado técnico, con la descripción de cada uno de los componentes principales del sistema de bombeo fotovoltaico.

COMENTARIOS

1. El sistema de bombeo fotovoltaico de la primera etapa consistirá de tres conjuntos bomba-inversor de frecuencia variable, que recibirán suministro eléctrico desde un panel de 22 módulos fotovoltaicos.
2. El sistema de bombeo fotovoltaico tendrá un costo total de US\$ 50 538,19 para la primera etapa.
3. Si consideramos que en las zonas rurales una familia esta constituida por no menos de 6 personas, entonces deberá realizar un pago por mantenimiento y reposición de equipos para el caso del sistema de bombeo fotovoltaico de aproximadamente US\$ 31,2 al año.
4. El sistema de bombeo fotovoltaico puede resultar más simplificado en la medida que aparezcan bombas "solares" de mayor capacidad en el mercado.

RESULTADOS ECONOMICOS : BIENES

EQUIPOS O MATERIALES	CANTIDAD	C. UNITARIO (US\$)	C. TOTAL (US\$)	TIEMPO DE VIDA
BOMBA (Unid.)	3	904,8	2714,4	5
MODULOS (Unid.)	66	450	29700	20
INTERFASE (Unid.)	3	1200	3600	10
CABLES P.* (m)	21,6	1,31	28,359	20
CABLES S.* (m)	15,072	0,12	1,8086	20
TUBOS A.* (Unid.)	53	10,466	554,74	20
TUBOS E. P.* (Unid.)	6	2,64	15,847	20
CISTERNA (Unid.)	0	100	0	20
TANQUE (Unid.)	0	100	0	20
OTROS COSTOS (Varios)	Varios	1000	1000	20
TOTALES		37615,165	6248,7475	

CAMBIO ALGUN PRECIO UNITARIO AHORA? (Marque si la Rspta. es SI)

CONTINUAR

Fig. 11 Pantalla de resultado económico, metrado del sistema de bombeo fotovoltaico

RESULTADOS ECONOMICOS : OPERATIVOS

GASTOS ADMINISTRATIVOS		
Jefe de Proyecto	1000	
Ingenieros	1500	
Técnicos	1200	
Personal Adm.	300	
Gastos	500	
UTILIDADES		
Utilidades	20%	8423,033
COSTO DEL PROYECTO (US\$)		50536,19
INVERSION INICIAL (US\$)		19171,78
COSTO ANUALIZADO (US\$)		6248,7
PAGO POR HABITANTE AL AÑO (US\$)		5,2
COSTO POR m4 (US\$/m4)		20,807

SEGUIR

Fig. 12 Pantalla de resultado final con la descripción general del proyecto y algunos datos técnicos económicos comparativos

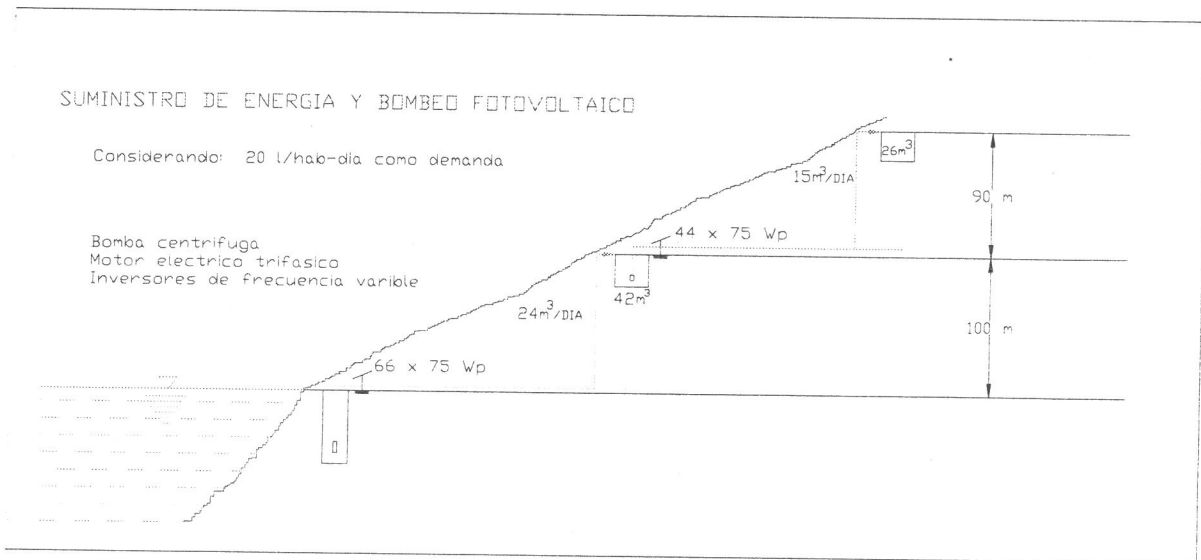


Fig. 13 Esquema de la configuración del sistema de bombeo fotovoltaico incluyendo la segunda etapa

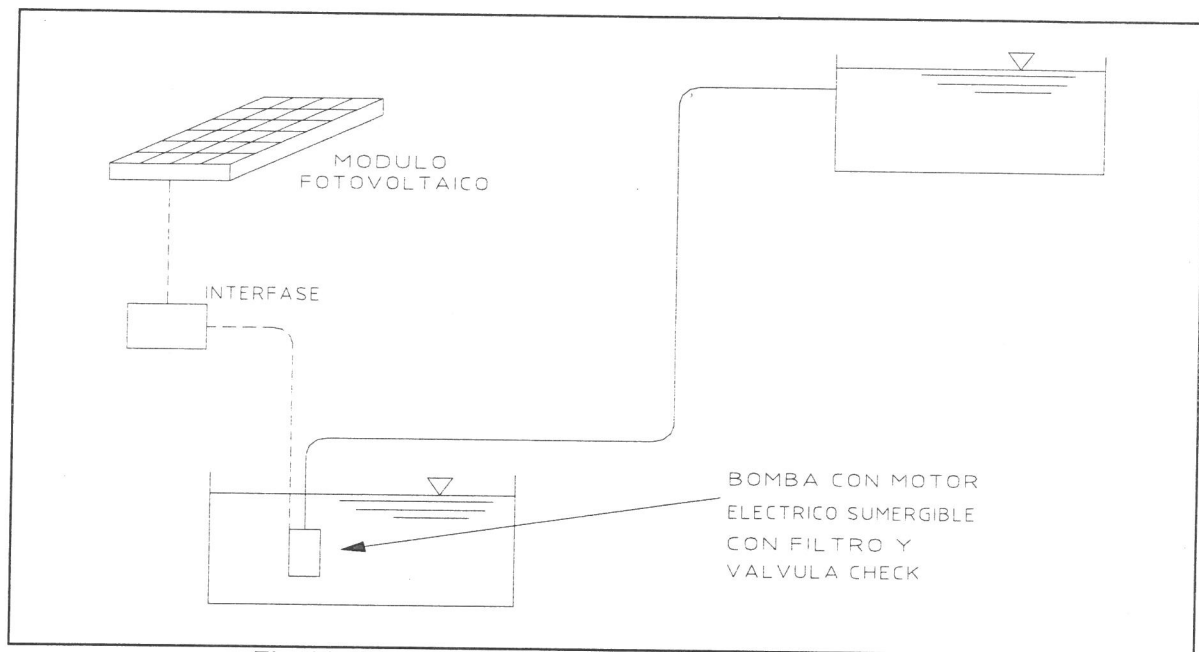


Fig. 14 Esquema del sistema de bombeo fotovoltaico

CAPACIDADES DEL PROGRAMA

- El programa cubre requerimientos de corriente continua, corriente alterna, sistemas directamente conectados y uso de baterías.
- Presenta en varios casos valores sugeridos según sea el parámetro, ej.: Radiación según la localidad del departamento.
- En el caso de resultar la altura total del sistema de bombeo muy grande el programa automáticamente dividirá esta altura en dos y realizará nuevamente el cálculo para este nuevo caso.
- Es altamente amigable e interactivo como lo exige la modernidad actual.
- Realiza la optimización del diseño mediante un proceso iterativo con la variable $\text{US\$/m}^4$ como referencia.
- Cambia los valores de los precios unitarios establecidos y realiza un cálculo con estos nuevos valores.
- Posibilidad de observar el comportamiento del sistema a lo largo del año según la base de datos que se tenga o que el usuario quiera agregar.

- Brinda la posibilidad de mostrar dos soluciones distintas y presenta una tabla de comparación técnica y económica.

LIMITACIONES DEL PROGRAMA

- Base de datos: técnica - económica de bombas y controladores limitada por falta de información.
- Ingreso de información técnica y económica de nuevos equipos o actualización de los ya existentes por parte del usuario.
- No calcula elementos de apoyo, anclajes y cisternas o tanques de agua.
- No brinda la posibilidad de emplear sistemas mixtos de bombeo o complementarios.
- Otras que usted (lector) nos comunique.

CONCLUSIONES

- El programa es un elemento de apoyo al proyectista de sistemas de bombeo fotovoltaico.
- El programa continúa en la etapa de ajuste con su alcance actual.
- La capacidad de cálculo del programa se ampliará respecto a las limitaciones antes mencionadas y para evaluar los siguientes casos:
 - Comparación con los métodos tradicionales de bombeo.
 - Con la ampliación de la base de datos se presentarán una información mas variada de las distintas soluciones y comparación entre las distintas marcas.
 - Mejorar la "amigabilidad" e interactividad.
 - Elaborar alternativas técnicas a "gusto del cliente"
 - Optimizar resultados
- El programa está diseñado para ofrecer soluciones a sistemas de bombeo fotovoltaico que requieran potencias entre 0,1 HP y 2 HP.
- En el mercado actual existen diversos programas vinculados a sistemas de bombeo fotovoltaico pero tienen, según sea el caso, las siguientes dos limitaciones importantes: Solo es posible ingresar información de distintas marcas pero de otros componentes que no sean el que auspicia el programa, solo brindan información técnica.

AGRADECIMIENTOS

Por lo tanto el CER-UNI decidió realizar investigaciones, estudios y aplicaciones en el campo del bombeo fotovoltaico. El resultado de lo mencionado es que se han realizado instalaciones en las islas Taquile y Suasi en Puno y el presente trabajo, resultado parcial de investigaciones tecnológicas que, en este caso, tiene como asesor al Ing. Rafael Espinoza y que es la síntesis de la tesis de competencia profesional "Diseño de un Sistema de Bombeo de Agua para la Isla de Taquile del Lago Titicaca usando Energía Eléctrica Fotovoltaico" del autor de este artículo.

REFERENCIAS

1. Hicks, T. "Bombas su selección y aplicación", décimo quinta edición, Ed. Continental, S.A., México, 1980
2. Mataix, C. "Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas", segunda edición, Ed. Continental, S.A., México, 1991
3. Sierra V. y Sansores A. "Manual técnico de cables de energía", segunda edición, Ed. Mc. Graw Hill, México, 1983
4. PROCOBRE. "Manual técnico de dimensionamiento de conductores eléctricos de cobre", Lima, 1998
5. APES "Memorias del seminario internacional: las energías renovables y el desarrollo de regiones rurales", Ed. Hozlo S.R.L, Lima, Enero de 1990
6. Thomas, M. G., "La opción solar para el bombeo de agua", Ed. Sandia National Laboratories. Albuquerque, New Mexico, USA, Marzo 1994
7. Barlow, R. y otros, "Solar pumping", Ed. Intermediate Technology Publications and World Bank. Washington, DC, USA, 1993
8. Valera, A., "Energía Solar I", primera edición, Ed. Hozlo S.C.R.L, Lima, Julio 1993
9. Lorenzo, E. "Electricidad solar. Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos", primera edición, Ed. Artes Gráficas Gala S.L., España, 1994
10. APES "Memorias del v simposio peruano de energía solar", Ed. Hozlo S.C.R.L, Cajamarca - Perú, Noviembre de 1994
11. Catálogos diversos