Proyecto apoyado por CORFO

Gobierno de Chile
gob.cl

Fundación Energía Comunitaria CHILE

GUÍA DE DISEÑO DE SISTEMAS DE BOMBEO DIRECTAMENTE ACOPLADOS

GD-BDA-V-2017-1.0

FUNDACIÓN ENERGÍA COMUNITARIA

Facultad de Ingeniería
Universidad de Concepción
El origen de grandes soluciones

Tabla de contenido

Diseño de sistema de bombeo acoplado directamente 2

Procedimiento de diseño 4

Diseño de sistema de bombeo acoplado directamente

Un sistema de bombeo acoplado directamente consiste en un arreglo de paneles fotovoltaicos conectados directamente a un motor de corriente continua que tiene acoplado en su eje una bomba de agua de bajo torque de partida, tal como por ejemplo una bomba centrifuga. De esta forma la energía capta por el arreglo de paneles fotovoltaicos es transformada en forma más directa a torque en el eje del motor sin la necesidad de contar con baterías, inversores u otro tipo de elemento para acondicionar la potencia captada. Teniéndose como resultado que cuando se recibe suficiente energía del sol el sistema operará y se tendrá un caudal de agua como resultado.

Dada la estructura del sistema de bombero directo el procedimiento de diseño correspondiente debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. El volumen de agua a ser bombeada y el periodo de tiempo en que esto debe lograrse. Esto es importante puesto que el volumen de agua a bombear variara bastante a lo largo del año en función de la insolación que pueda recibirse en el lugar de instalación. Es así que en periodos de verano se tendrá un caudal más alto que en periodos de invierno, lo que puede ser por ejemplo ventajoso en sistemas destinados al regadío. Este aspecto tiene por tanto algunas implicaciones que vale la pena mencionar en lo que se refiere a los ángulos de inclinación del arreglo de paneles.

    a. Si el perfil de demanda a lo largo del año es relativamente constante, como por ejemplo en el suministro de agua sanitaria, un ángulo en torno a latitud +20º será necesario para mejorar la captación de energía durante los meses de invierno.

    b. Si el caudal de agua requerido es uniforme, pero con un aumento en los meses de verano, un ángulo de inclinación de latitud +10º es probablemente deseable dado que mejora la captación de energía en los meses de verano sin sacrificar en mayor medida la captación en invierno

    c. Si el volumen total de agua bombeado a lo largo del año requiere de ser maximizado, por ejemplo, si se cuenta con un reservorio suficientemente grande para su almacenamiento, entonces un ángulo de latitud -10º es recomendable. Esto debido a que permitirá maximizar la captación de energía en los meses de mayor insolación.

    d. Si maximizar el volumen de agua bombeada durante los meses de verano es el objetivo del sistema de bombeo, entonces un ángulo de inclinación para el arreglo de paneles fotovoltaicos debiera ser ubicado en latitud -20º. Esto asegura la mejor utilización de la insolación disponible en verano maximizando por tanto el caudal de agua generado. Esto es típicamente una buena selección para sistemas de regadío.

2. La altura de impulsión y su variación estacional deben ser conocidos, y además cuando sea posible se deberá tener información respecto de la taza de reposición del lugar donde se esté extrayendo el agua. Esto último para asegurar que se tendrá suficiente liquido disponible para ser bombeado incluso en los meses de año cuando se tenga mayor disponibilidad de energía solar.

3. El estudio de incluir reservorios para el almacenamiento de agua debe ser realizado en conjunto con el cliente para determinar la factibilidad económica y desde el punto de vista de los requerimientos de agua. Esto permite por un lado asegurar la disponibilidad del recurso en situaciones de poca radiación solar y eventualmente disminuir el tamaño requerido para el arreglo de paneles fotovoltaicos.

4. Información sobre la insolación local debe obtenerse. Además, e se requiere tener disponibles datos sobre la radiación solar en horas de la mañana y tarde, junto con la correspondiente carta de trayectoria solar para determinar posibles obstrucciones o fuentes que den origen ha sombreado.

5. Seleccionar una bomba que cumpla con las condiciones de torque de partida, el rango de alturas de bombeo necesarias, que sea capaz de producir el caudal de agua necesario bajo las condiciones de máxima eficiencia, y que se adapte a las restricciones que puedan existir en cuanto a dimensiones físicas impuestas por la aplicación. Es indispensable en este punto que se tenga acceso a la característica torque-velocidad de la bomba seleccionada de forma de poder hacer el calce de esta con la del motor.

6. Seleccionar un motor de corriente continua con una característica torque-velocidad compatible con la de la bomba. Es importante que el motor opere en torno a su punto de máxima eficiencia cuando este entregue el torque necesario para arrastrar la bomba a su velocidad de diseño.

7. El dimensionamiento apropiado del arreglo de paneles fotovoltaicos permitirá que las especificaciones generales del sistema sean alcanzadas mientras en forma simultánea se asegura una máxima eficiencia. Para esto tanto la tensión como la corriente en el punto de máxima potencia deben ser optimizadas. Lamentablemente en este punto no existe mayor flexibilidad al utilizar paneles comerciales puesto que las tensiones de los módulos tienen valores estándar siendo estas 12, 24 o 36 V. Por otro lado, para los valores de corriente existen mayores opciones en función de la potencia del panel a utilizar.

Procedimiento de diseño

1. Calcular el volumen de agua requerido

$$Vol = n_p * V_p + n_g * V_g + V_{reg}$$

donde, n_p corresponde al número de personas que accederán al agua, V_p es el volumen de agua necesario por persona por día en m^3, n_g número de cabezas de ganado que se suministraran, V_g el volumen de agua en m^3 que se requiere por animal por día en m^3, V_{reg} el volumen de agua en m^3 que se requiere suministrar para regadío.

Valores típicos para el consumo por persona por día se encuentran entre 60 y 100 litros (0.06-0.1 m^3) y para el ganado en general puede tomarse un valor en torno a los 40 litros (0.04 m^3). Pr otro lado, el volumen de agua requerido para riego dependerá del tipo de cultivo a suministrar y el área correspondiente.

2. Celular la altura de elevación total que debe proveer la bomba, considerando la diferencia de altura relativa desde el punto de captación al reservorio y las pérdidas de carga que existan en la canalización.

$$H_t = \Delta H_e + \Delta H_f + \Delta H_{pc}$$

donde, ΔH_e es la diferencia de altura estática entre el punto de captación y de descarga, ΔH_f las pérdidas por fricción en las cañerías expresadas en metros, ΔH_{pc} las pérdidas de altura generadas por otras perdidas de carga en el sistema expresadas también en metros.

3. Determinar la insolación de diseño para el sistema. Esta se obtiene a partir de la información meteorológica del lugar de instalación. Si el sistema se utilizará a lo largo del año se deberá considerar en este punto el mínimo valor (invierno) de forma de asegurar el suministro de agua bajo la peor condición de operación.

4. Determinar el factor de derateo por temperatura para el arreglo de paneles fotovoltaicos (F_t = 0.8 para lugares cálidos, por ejemplo). Esta es una estimación y el efecto más exacto de la temperatura sobre el sistema podrá ser calculado una vez que se tenga los paneles fotovoltaicos seleccionados y su característica especifica ante variaciones de temperatura sea conocida.

5. Seleccionar el factor de desacople para el arreglo de paneles fotovoltaicos y el motor. Generalmente se recomienda tomar en este punto un factor de F_M=0.9 puesto que el cálculo exacto de este es complejo. Por otro lado, si se incluye un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) entonces se puede tomar un factor F_M=1. Si bien el incluir un sistema de MPPT mejora el factor de desacoplamiento, esto tiene la desventaja de aumentar el costo del sistema y reducir su confiabilidad.

6. Calcular el caudal máximo que debe proveer la bomba a utilizar. Para esto a partir de la información de insolación en el lugar de instalación deberá obtenerse la cantidad de horas equivalentes a irradiación nominal y con dicho valor calcular el caudal.

$$Q = \frac{Vol}{h@SOL - 1} \left[\frac{m^3}{hora}\right]$$

7. Seleccionar entre las bombas que se encuentres disponibles aquella que cumpla con las características de altura y caudal calculados.

8. Calcular la potencia que deberá suministrar el arreglo de paneles fotovoltaicos. Para esto calcular en primer lugar la energía hidráulica necesaria,

$$E_h = \rho_{agua} * g * Vol * H_t \; [J]$$

donde, ρ_{agua} es la densidad del agua 1000 [kg/m^3], g la constante de gravedad 9.8 [m/seg^2], y Vol y H_t los valores de caudal y altura calculados anteriormente.

Así la energía eléctrica necesaria será:

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{bomba}} \; [J]$$

con, η_{bomba} la eficiencia de la bomba. El valor de la eficiencia de la bomba se puede obtener de la hoja de datos del fabricante o bien si no está disponible pueden tomarse los valores mostrados en la Tabla I y que corresponden a valores típicos para diferentes tipos de bombas.

Tabla I
Rangos típicos de eficiencia para conjuntos bomba-motor

Altura [m]	Tipo de bomba	Eficiencia de alambre a agua [%]
0-5	Centrifuga	15-25
6-20	Centrifuga con Venturi	10-20
	Sumergible	20-30
21-100	Sumergible	30-40
	Ariete	30-45
>100	Ariete	35-50

El equivalente en Watt-hora, de la energía eléctrica necesaria para mover la bomba en tanto se obtiene realizando la siguiente conversión de unidades.

$$E_{ew} = \frac{E_e}{3600}$$

Y entonces la potencia requerida para el arreglo de paneles entonces puede calcularse de acuerdo a;

$$P_{PVp} = \frac{P_h}{S * F_m * F_t}$$

donde, P_{PVp} es la potencia peak requerida para el arreglo de paneles, S la insolación promedio en el lugar de instalación en horas equivalentes a sol nominal, F_m y F_t los factores de desacople y de derrateo por temperatura.
Este cálculo puede también realizarse utilizando el set de curvas que habitualmente proveen los fabricantes de las bombas de forma de forma de tener valores más precisos para los factores de derateo y eficiencia del sistema.

9. Seleccionar el tipo de paneles a utilizar para construir el arreglo. Para esto se debe considerar, la tensión del motor a utilizar que debe calzar lo más posible con la tensión en el punto de máxima potencia del panel (o múltiplos enteros de esta). Y que la potencia producida se ajuste a la requerida o bien a una fracción de esta (en lo posible en una fracción entera). En este punto y posteriores es conveniente analizar diferentes configuraciones utilizando conjuntos de diferentes paneles para obtener la mejor alternativa en términos de costo y tamaño.

10. Determinar el número de paneles en series que se requerirá en función de la tensión nominal de operación del motor.

$$n_{p_series} = \frac{V_{mp}}{V_{bomba}}$$

11. Determinar el número de cadenas de paneles en paralelo en función de la potencia requerida

$$I_{PVp} = \frac{P_{PVp}}{n_{p_{series}} * V_{mp}} \; [A]$$

donde I_{PVp} es la corriente que deberá proveer el arreglo de paneles y V_{mp} la tensión en el punto de máxima potencia del panel seleccionado.
Así el número de cadenas en serie necesarias es,

$$n_{s_paralelo} = \frac{I_{PVp}}{I_{MP}}$$

con I_{mp} la corriente de máxima potencia proveída por el panel seleccionado.

Proyecto apoyado por

CORFO

Gobierno de Chile

gob.cl

Bienes Públicos Estratégicos para la Competitividad