

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”



DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES

Energía Fotovoltaica Aplicada al Bombeo de Agua para Abrevar Ganado

POR

JOSE MARIO ALFREDO RODRIGUEZ ARROYO

MONOGRAFIA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2014

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES

Energía Fotovoltaica Aplicada al Bombeo de Agua para Abrevar Ganado

POR

JOSE MARIO ALFREDO RODRIGUEZ ARROYO

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO ZOTECNISTA

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO:

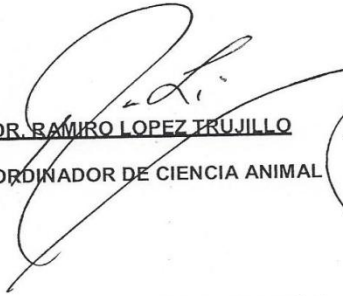
M.C. LUIS PEREZ ROMERO

SINODAL:

ING. GILBERTO GLORIA HERNANDEZ

SINODAL:

M.C. HUMBERTO C. GONZALEZ MORALES


DR. RAMIRO LOPEZ TRUJILLO
COORDINADOR DE CIENCIA ANIMAL



JUNIO DE 2014 SALTILLO, COAHUILA

DEDICATORIA

A LOS SERES QUIENES ME DIERON LA VIDA Y QUIENES ME APOYARON A LO LARGO DE MI CARRERA MIS PADRES:

JOSE BLAS RODRIGUEZ GARCIA

MARIA ENRIQUETA ARROYO RODRIGUEZ

A MI ESPOSA:

MARIA FELIX POR SER LA MUJER QUE DIOS PUSO EN MI CAMINO Y QUE CON SU CONSTANTE APOYO ME HA AYUDADO A LOGRAR ESTA META TAN IMPORTANTE

A MIS HIJOS:

JUAN FRANCISCO, CARMEN JULIA, ROSA ISELA, MARIANA BRIGETTE Y FABIOLA MONSERRAT QUE CON SUS ALEGRÍAS Y COMPRENSIÓN HAN HECHO QUE LUCHE INCANSABLEMENTE CADA DÍA PARA SALIR ADELANTE

INDICE

LISTA DE CUADROS.....	1
LISTA DE FIGURAS.....	1
INTRODUCCION.....	3
OBJETIVO.....	4
REVISION DE LITERATURA.....	5
EL AGUA Y LAS ENERGIAS RENOVABLES.....	5
ENERGIA RENOVABLE.....	8
GENERADORES FOTOVOLTAICOS.....	10
MODULO FOTOVOLTAICO.....	12
BOMBEO DE AGUA CON TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA.....	20
DISPONIBILIDAD DEL RECURSO SOLAR.....	23
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.....	27
EQUIPO DE BOMBEO COMPATIBLE CON SISTEMA FOTOVOLTAICOS.....	27
BOMBAS CENTRIFUGAS.....	27
BOMBAS VOLUMÉTRICAS.....	29
SELECCIÓN DE LA BOMBA.....	32
TIPOS DE MOTORES.....	33
ACONDICIONAMIENTO DE ENERGÍA.....	33
MANEJO DEL GANADO Y DEL AGOSTADERO APARTIR DE SUMINISTRO DE AGUA POR MEDIO DE BOMBEO FOTVOLTAICO.....	35
IMPLICACIONES PRACTICAS DE MANEJO.....	36
IMPACTOS.....	38
ECONÓMICOS.....	38
SOCIALES.....	38
PERSPECTIVAS DEL USO DE LA ENERGÍA RENOVABLE.....	38
CONCLUSIONES.....	39
BIBLIOGRAFIA.....	41

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.- Consumo de agua promedio diario estimado para diferentes tipos de Animales.

Cuadro 2.- Valores estimados del consumo anual y aplicación del agua en México.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.- Modulo típico de silicio cristalino.

Fig. 2.- Corte transversal de un modulo fotovoltaico, indicando sus principales Componentes.

Fig. 3.- Etiqueta de identificación de varios módulos comerciales.

Fig. 4.- Componentes fundamentales de un arreglo fotovoltaico.

Fig. 5.- Principales componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua.

Fig. 6.- Esquema de una instalación típica de un sistema fotovoltaico de bombeo de Agua.

Fig. 7.- Selección de tecnología de bombeo de acuerdo al ciclo hidráulico.

Fig. 8.- Irradiancia y horas solares pico (Insolación) durante un día soleado.

Fig. 9.- Insolación global media en KWh/m².

Fig. 10.- Diagrama de flujo de decisiones para bombeo considerando dos Tecnologías de generación de energía.

Fig. 11.- Bomba centrifuga superficial.

Fig. 12.- Esquema de una bomba centrifuga sumergible.

Fig. 13.- Corte transversal de una bomba sumergible de paso múltiple.

Fig. 14.- Esquema de una bomba volumétrica de cilindro.

Fig. 15.- Esquema de una bomba de diafragma sumergible.

Fig. 16.- Bomba de diafragma superficial (Shurflo).

Fig. 17.- Indica el tipo de bomba adecuada según carga dinámica total y volumen
Deseado.

INTRODUCCION

La gran disponibilidad de la energía solar la colocan como una de las fuentes de energía renovable que permite generar electricidad de una manera limpia y confiable, por medio del efecto fotovoltaico a través del cual la luz solar se convierte en electricidad mediante el uso de generadores fotovoltaicos o paneles solares. Esto representa una solución a la carencia de infraestructura eléctrica convencional en las zonas rurales de nuestro país.^[1]

El inicio de esta tecnología data del año de 1839 cuando Edmond Becquerel observo la generación de corriente eléctrica en una reacción química inducida por la luz. Varias décadas después en 1870 un efecto similar fue observado en sólidos, en especial en selenio. En 1930 Lange, Schottky y Grondhal, reportan eficiencias de conversión del 2% en celdas basadas en Se y Cu₂O. Sin embargo hubo necesidad de esperarse el avance de la ciencia, en especial en Física Cuántica, para dar una explicación fundamental del fenómeno fotovoltaico. Posteriormente, con el desarrollo de la teoría del Rectificador de Estado Solido (diodo) llevado a cabo por Mot y Schottky a principios de la década de los 1940s y el invento del transistor por Bardeen, Brattain y Shockley en 1949 abrieron el camino al establecimiento de la primera celda solar de silicio cristalino de eficiencia aceptable. Este desarrollo se llevo a cabo en 1954 en los Laboratorios Bell y fue realizado por Chapín, D. M. y colaboradores los que reportaron una eficiencia de conversión, de energía solar a electricidad, del 6%.

La aplicación de las celdas solares no tuvo que esperar mucho tiempo y fue así que en 1958 que esta tecnología fue utilizada en el satélite Vanguard I para generar su energía eléctrica, por lo que la aplicación inicial de las celdas solares y de los sistemas fotovoltaicos se efectuó en el programa espacial de los Estados Unidos de Norteamérica.

Desafortunadamente las celdas solares resultaron en una inversión muy alta y la falta de mercado propició que su uso quedara restringido a investigación y pruebas de laboratorio. Sin embargo, los dispositivos fotovoltaicos demostraron que son ideales para generar electricidad en el espacio, con la ventaja de que no

requieren de mantenimiento, no producen desechos y la generación de electricidad solo depende del sol.

A raíz de la crisis petrolera en los años 1970s, los programas de desarrollo e investigación en celdas solares para su aplicación comienzan en gran escala y diversificando su uso; y en relativamente corto tiempo se logran grandes avances en aumento de eficiencia y disminución de costos.^[2]

En las últimas dos décadas se ha observado tanto en el ámbito industrial como en el académico un fuerte desarrollo tecnológico en el área de conversión fotovoltaica, transformando el estado que mantenía la tecnología fotovoltaica como una fuente de generación de energía exótica cara, a un escenario de fuente de energía común con un rango amplio de aplicaciones, avocándose a la tarea de diseñar y construir aparatos eléctricos que fueran susceptibles de funcionar con esta energía eléctrica en donde muestran un panorama de competitividad económica con tecnologías convencionales y básicamente en sitios remotos apartados de la red eléctrica convencional o para proyectos en donde se requiere de un generador confiable, limpio y que no impacte el medio ambiente.

OBJETIVO

Promover la energía solar como fuente de generación de electricidad mediante módulos fotovoltaicos y aplicarla en el sector rural, principalmente en lugares alejados de la red de Energía Eléctrica Convencional.

REVISION DE LITERATURA

EL AGUA Y LAS ENERGIAS RENOVABLES

Un elemento esencial para el desarrollo de la vida animal y vegetal en nuestro planeta es el agua, considerada como un factor importante para el desarrollo ecológico, industrial, económico y social de cualquier país; por ello la necesidad de cuantificar este recurso así como su uso específico y buscar los caminos más apropiados para un consumo racional en beneficio del ser humano.

Generalmente para su aplicación en cualquier actividad, es necesario consumir energía eléctrica con el objeto de extraerla, controlarla y conducirla a los sitios de consumo. Esto significa que la disponibilidad de la electricidad es causa del desarrollo industrial y agropecuario de cualquier región.

Son muchos los aspectos en los que el agua está involucrada en el desarrollo de los seres vivos. Es el líquido más importante en el organismo animal en donde se desempeña como un solvente de los compuestos químicos corporales, permite el transporte y asimilación de los nutrientes, diluye las sustancias tóxicas y facilita su excreción. Además facilita la realización de un número muy grande de funciones fisiológicas que ayudan al funcionamiento óptimo de los seres vivos. En el reino vegetal es el pilar más importante después del sol, para que se realicen los procesos fotosintéticos que permiten la germinación, crecimiento y maduración de ellos. Incluso productos vegetales cosechados contienen un alto porcentaje de agua siendo un principal aporte en la alimentación animal.^[1]

La cantidad de agua que requiere cada ser vivo para su mantenimiento óptimo se encuentra determinada por las necesidades fisiológicas y las condiciones climáticas de la zona donde se desarrolla. En actividades pecuarias donde la especie animal es sustento del ser humano los consumos promedio diarios de agua fluctúan dependiendo del tipo de crianza acostumbrado y de la región. Así mismo la cantidad de agua a consumir está en función de la temperatura ambiental, tipo de alimentación y tamaño del animal. Para el caso de la crianza de ganado vacuno, el consumo diario por cabeza de ganado depende del peso, sexo

e inclusive de la raza, además de los factores climatológicos. El Cuadro No. 1 proporciona consumo de agua diario típico para determinados animales.^[3]

Cuadro 1.- Consumo de agua promedio diario estimado para diferentes tipos de animales	
ANIMAL	CONSUMO (Litros/Día)
Vaca Lechera en Producción	110-140
Vaca, Novillos	40-60
Becerro 200 kg	30-40
Becerro 400 Kg	40-60
Toro	50-70
Caballo	40-50
Cerdo	15-20
Oveja, Cabra	4-6
Avicultura (Pollo,Pato,Gallina,Guajolote)	0.2

La agricultura es una de las actividades que mas consumo de agua requiere. Cuando esta actividad se basa en riego mecanizado o por gravedad, en canales abiertos, la cantidad de agua que requieren los cultivos, por hectárea varían desde unos cuantos milímetros hasta el completo inundamiento de parcelas, como es el caso del cultivo del arroz. La cantidad de agua que se requiere es muy grande llegando a sobrepasar valores promedio diario de más de 100,000 litros. Sin embargo, estas cantidades se pueden reducir drásticamente cuando los cultivos son parcelas pequeñas o invernaderos, con sistemas de riego tecnificado como por ejemplo el riego por goteo. En ellas, la cantidad de agua requerida para obtener crecimientos óptimos y cosechas de alto rendimiento es mínima.

Nuestro país, con una población creciente, necesita del vital líquido en todos sus sectores tanto en el medio urbano como en el rural. Requiere continuamente aumentar su producción agropecuaria en una razón cercana al porcentaje de su crecimiento para garantizar sus necesidades de consumo. Sin embargo, como las actividades agropecuarias dependen del agua, su desarrollo se encuentra limitado por la disponibilidad del recurso hídrico tanto en cantidad como en calidad.

México cuenta con pocas zonas rurales donde el recurso hídrico es abundante tanto superficialmente como en el subsuelo. Con energía eléctrica disponible y la implementación de tecnologías para el manejo, extracción y control de agua, aunado con metodologías agropecuarias adecuadas, estas zonas se han convertido y mantenido con un desarrollo agropecuario y económico importante,

generando fuentes de trabajo y beneficio social. El Cuadro No. 2 muestra un conjunto de datos que permiten tener una idea de la cantidad de agua que se usa en nuestro país así como sus aplicaciones en el sector agrario, público e industrial. [4]

Cuadro 2.- Valores estimados del consumo anual y aplicación del agua en México				
Aplicación por Sector	ORIGEN		VOLUMEN TOTAL (Km3)	(%)
	Superficial (Km3)	Subterráneo (km3)		
Agrícola	47.9	16.9	64.8	82.7
Publico	3.1	6.8	9.9	12.6
Industrial	2.0	1.7	3.7	4.7
Total	53.0	25.4	78.4	100
Nota.: 1 Km3 de agua= 1'000,000,000 m3 = 1'000,000,000,000 Litros				

Sin embargo, también se tiene muchas regiones áridas y semiáridas, con acuíferos de baja capacidad hídrica o en proceso de agotamiento, por lo que sus actividades agropecuarias son pocas y están limitadas a la temporada de lluvias de la región. Dichas zonas por lo general son de bajo desarrollo económico; además dentro de esas regiones hay sitios donde los mantos freáticos están a profundidades de hasta 100 metros. Al habilitar o perforar pozos o norias artesanales, estos pueden proporcionar más de 1000 litros por día, los que podrían mejorar la calidad de vida de alguna familia campesina. La extracción, manejo y uso del agua desde dichas profundidades solo se puede dar si se tiene un sistema de bombeo, lo que significa gastar una determinada cantidad de energía cualquiera que esta sea.

La energía se puede administrar por sistemas convencionales aplicados a tecnologías de bombeo comunes, como puede ser energía humana o animal para bombas manuales, energía del viento para aerobombas, la extensión de la red de energía eléctrica convencional y el uso de motobombas o de electrobombas acopladas a motores de combustión interna, los cuales conllevan a la quema de combustibles fósiles.

Muchas de las regiones que están lejos de las redes de distribución eléctrica, con limitados recursos hidráulicos dentro del subsuelo, no son aprovechados por sus habitantes debido a la carencia de dicho energético. Ellos no tienen una tecnología apropiada, eficiente y económica para la extracción del vital líquido y en consecuencia no pueden desarrollar actividades agropecuarias redituables.

No obstante para superar estos problemas, a los que se les suma el alto costo y baja disponibilidad de los energéticos convencionales, como son los derivados del

petróleo, los productores agropecuarios, ganaderos y agricultores, se han visto en la necesidad de adoptar mejores metodologías productivas y participar en el desarrollo de tecnologías basadas en los recursos naturales locales, como lo son el recurso solar y el del viento llamadas Energías Renovables.

ENERGIA RENOVABLE

Se denomina **energía renovable** a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.^[5]

Para entender el concepto de energía renovable es necesario considerar lo que no es renovable, un ejemplo para definir lo anterior es la producción de energía eléctrica la cual proviene de plantas termoeléctricas las cuales consumen combustibles fósiles como el gas natural, petróleo o carbón para su operación; considerando la tasa actual a la que son consumidos estos combustibles se llega a la conclusión que se agotaran y dado que no se pueden fabricar son considerados como fuentes de energía no renovables.

Aunque los combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón) presentan una densidad energética muy grande, con tecnologías maduras y confiables para producir energía, tienen varios inconvenientes, siendo uno de ellos y el más importante, la contaminación atmosférica. Los productos de la combustión son peligrosos para la vida humana y se les ha hecho responsable del calentamiento global del planeta.

Debido a esto se ha sugerido la implementación de nuevas y viejas tecnologías para generar electricidad a baja escala, para el autoconsumo y cuya operación se base en el uso de las fuentes renovables de energía.

Entre las fuentes renovables de energía cabe mencionar a la energía eólica, la solar, la maremotriz, la geotérmica y la hidráulica. Aunque no se pueden fabricar, todas ellas tienen periodos de vida muy grandes comparados con el ciclo de vida humano, por lo cual se denominan renovables. Dado que son producto de la naturaleza, no ocasionan problemas de contaminación, por lo que las tecnologías que operan con ellas no producen desechos contaminantes. Es decir la energía renovable es un recurso limpio, abundante e inagotable.^[6]

El único problema es que su densidad de energía es baja comparada con la de los combustibles fósiles, lo que sugiere áreas grandes de captación para la

generación de energía en el rango de los megawatts, como es el caso de las grandes plantas hidroeléctricas.

Todas las energías renovables presentan un potencial de aplicación alto para la generación de electricidad mediante el uso de tecnologías maduras y de punta. Tal es el caso de las plantas termosolares cuyo principio de operación se basa en la concentración de los rayos solares mediante espejos para producir calor de proceso y con el uso de alternadores, generar electricidad.

Otro ejemplo es el uso de aerogeneradores cuya tecnología ha sido desarrollada para generar desde unos pocos watt hasta millones de watt. Quizá la más conocida de ellas sea la energía potencial de las presas o energía hidráulica, la que genera electricidad en alternadores acoplados a turbinas que son movidas por la fuerza del agua que cae en sus paletas desde cierta altura. Una que no es muy conocida es la energía de la geotermia o sea el calor proveniente de la profundidad de la Tierra, el cual calienta yacimientos de agua que fluyen al exterior como vapor. Este vapor se utiliza como calor de proceso y generar electricidad de la misma manera que lo hace una termoeléctrica. Todas las fuentes de energía antes mencionadas tienen un denominador común, generan electricidad de una manera indirecta por medio de alternadores eléctricos y su capacidad de generación depende de la magnitud del recurso.

Además se cuenta con otras derivaciones energéticas no naturales, fabricadas por el hombre y que son capaces de producir trabajo. Dentro de estas existe una tecnología a través de la cual se genera electricidad directamente debido a la absorción de la energía solar. Esta es la Tecnología Fotovoltaica, usando esta tecnología la energía de los rayos solares es convertida directamente en electricidad, mediante un captador solar en donde se realizara la absorción de luz; en general podemos definir como captador solar cualquier objeto que sea expuesto a los rayos del sol.

Actualmente se tiene disponible comercialmente una gama amplia de tecnologías para aprovechar la energía solar, tanto en el proceso fototérmico como en el fotovoltaico. Estas son usadas en aplicaciones de uso domestico e industrial y en el sector agropecuario. Los procesos fototérmicos son usados mediante los colectores planos para calentar agua, desalación y purificación del agua, y cocción de alimentos, entre otras aplicaciones.

Las aplicaciones fotovoltaicas han sido encaminadas hacia la solución de problemas energéticos en lugares apartados de la red o de difícil acceso o en sitios en donde la inversión costo-beneficio es justificable. Su principal propósito

es generar electricidad para usos específicos. Ejemplos típicos se tienen para iluminación, comunicación, señalización refrigeración de vacunas y en el sector agropecuario para el bombeo de agua, cercos eléctricos, ventilación, molienda de granos y refrigeración para conservación de alimentos, entre otras aplicaciones.

GENERADORES FOTOVOLTAICOS

Un Generador Fotovoltaico es una unidad que transforma la energía proveniente del sol en energía eléctrica.^[7] La tecnología fotovoltaica basa su operación en unidades mínimas de transformación llamadas comúnmente celdas solares o generadores fotovoltaicos que son encargados de absorber la luz del sol y convertirla en electricidad. La transformación se realiza de manera directa sin ningún proceso intermedio: si la celda recibe luz solar se genera electricidad, si no la recibe no se realiza la generación. Esto significa, que las celdas solares no generan electricidad de noche, ni tampoco cuando les da sombra. Esto representa uno de los pocos inconvenientes de la tecnología fotovoltaica; sin embargo tiene muchas ventajas respecto de otras tecnologías para generar electricidad, las que la hacen un candidato excelente para la generación de electricidad en lugares remotos.

El efecto fotovoltaico se puede definir como la generación de una fuerza electromotriz en las terminales de un dispositivo cuando este es iluminado. Si a las terminales del dispositivo se le conecta una carga eléctrica, por ejemplo un foco, entonces este se encenderá debido a la corriente eléctrica que pasa a través de él. Esta es la evidencia física del efecto fotovoltaico. La celda solar representa la unidad mínima de conversión de potencia eléctrica de un generador fotovoltaico.

Los sinónimos comúnmente usados para los dispositivos en donde se realiza el efecto fotovoltaico son: celda solar, generador fotovoltaico, generador de electricidad solar. La corriente y el voltaje eléctricos fotogenerados por celdas solares son del tipo directo (corriente directa: CD).

Siendo un fenómeno físico el efecto fotovoltaico se puede llevar a cabo en materiales sólidos, líquidos y gaseosos: pero es en sólidos y en especial en los materiales semiconductores, donde se han obtenido las mayores eficiencias. Las celdas solares se fabrican a partir de materiales semiconductores y metales, presentando analogías eléctricas comunes con otros dispositivos electrónicos de estado sólido tales como los diodos, transistores y circuitos integrados. Se puede decir que una celda solar es un dispositivo semiconductor optoelectrónico que

convierte la luz en electricidad. La generación de potencia eléctrica en las celdas solares es pequeña, por lo que para incrementar esta, es necesario interconectarlas entre sí para formar módulos fotovoltaicos.

Se puede encontrar en el mercado comercial diferentes tipos de celdas y módulos; pero a nivel de investigación, donde se busca obtener de la celda solar la máxima potencia manteniendo los costos de elaboración al mínimo, hay una gama amplia de materiales semiconductores y estructuras en desarrollo. Se han encontrado materiales que sirven para fabricar celdas solares, a nivel laboratorio, con eficiencias de conversión mayores del 30%; sin embargo, las celdas solares que se encuentran a disposición en el mercado tienen eficiencias del orden del 18%.

El mercado actual de los generadores fotovoltaicos está basado en las celdas solares de silicio cristalino (obtenido a partir de arena), debido a que la tecnología de elaboración de este semiconductor es muy conocida, considerándose una tecnología madura y confiable. Las celdas solares y módulos fotovoltaicos elaborados con silicio cristalino han mostrado un tiempo de vida amplio (mayor a 20 años), y la mejor eficiencia de conversión en una celda solar de silicio monocristalino ha llegado al 24.7%. Para reducir los costos de fabricación de los módulos fotovoltaicos de silicio cristalino se han substituido las celdas solares monocristalinas de silicio por celdas policristalinas, material cuya elaboración es más económica que los monocristales, pero un poco menos eficiente.

Gracias al avance en la tecnología de fabricación de semiconductores en película delgada, actualmente se tienen una variedad muy amplia de dichos materiales que han sido considerados, en base a sus características ópticas y eléctricas, como buenos candidatos para formar una celda solar. Entre estos materiales, el que ha recibido un fuerte impulso en la investigación y desarrollo tecnológico es el silicio amorfo hidrogenado. Debido a esto se encuentra en el mercado celdas solares en película delgada basadas en silicio amorfo, material que es más barato producirlo en comparación con el silicio cristalino, pero su eficiencia de conversión en celdas disponibles comercialmente apenas llega al 10%. El inconveniente de este material es la degradación debido al conocido efecto Staebler-Wronski. Actualmente el uso de estas celdas solares es muy común ya que se les puede encontrar en relojes, calculadoras, sistemas de señalización y hasta módulos con 64 watts de potencia con los que se puede construir sistemas de potencia.

Otros compuestos semiconductores en película delgada que han sido considerados para aplicaciones fotovoltaicas son el telurio de cadmio (CdTe) y el cobre-indio-diselenio (CuInSe₂). Las celdas solares elaboradas con estos compuestos así como los módulos fotovoltaicos están por aparecer en el mercado

y aparentemente satisfacen la combinación requerida de bajo costo y eficiencia de conversión aceptable.

Existe otra clase de celdas solares basadas en monocristales de compuestos semiconductores tales como arseniuro de galio (GaAs) o fosfuro de indio (InP), materiales cuya elaboración es muy cara pero que satisfacen los requerimientos de alta eficiencia y bajo peso, características que las hacen ideales para las aplicaciones espaciales (GaAs presenta record de más alta eficiencia 34%). Para este tipo de aplicaciones, donde se busca bajo peso y alta eficiencia, la relación costo beneficio es pequeña.

MODULO FOTOVOLTAICO

Las celdas solares deben protegerse ya que están constituidas de un material muy frágil, principalmente contra posibles golpes que la romperían, así mismo se deben proteger contra condiciones ambientales para evitar procesos de degradación. Por esta razón, las celdas conectadas se encapsulan para formar una nueva estructura llamado modulo fotovoltaico, estas celdas al estar unidas entre sí producen el voltaje y la corriente deseada por la aplicación específica es decir para generar una potencia útil, las celdas laminadas entre dos polímeros están soportadas en un vidrio para protegerlas contra humedad es decir debidamente aisladas y para protegerlas del clima o de algún accidente. Encima del polímero se fijan las cajas de conexión eléctrica en donde se conectarán los cables que llevarán la electricidad a la carga específica. Este laminado es colocado en un marco metálico, provisto de hoyos de fijación, que permiten colocarlo en una estructura que provee la orientación respectiva del modulo.

El número de celdas que contienen los módulos depende de la aplicación para la que se necesite. Es costumbre configurar el número de celdas conectadas en serie para tener módulos que sirvan para cargar acumuladores (o baterías) de 12 volt. Se pueden encontrar módulos de 30, 33 y 36 celdas conectadas en serie disponibles comercialmente, estos módulos proporcionan un voltaje de salida que sirve para cargar baterías a 12 volt más un voltaje extra que sirve para compensar las caídas de tensión en los circuitos eléctricos así como en los sistemas de control y manejo de energía. Debido a lo anterior a dichos módulos se les asigna un voltaje nominativo de 12 volt. Sin embargo, también se fabrican con otros voltajes nominales.

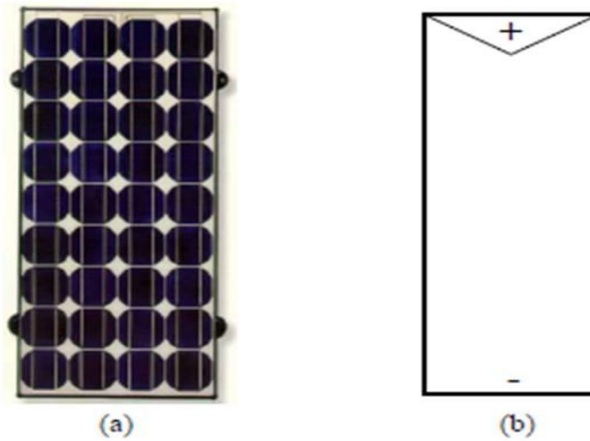


Fig.1.- En (a) Modulo típico de silicio cristalino; en (b) el símbolo convencional para módulos fotovoltaicos.

Los módulos fotovoltaicos deben tener la característica de ser libres de mantenimiento durante muchos años en las condiciones ambientales para las cuales sean diseñados. El objetivo es crear estructuras con un tiempo de vida promedio mayor que el de la garantía. El vidrio y el encapsulante frontal para el laminado, comúnmente Etil Vinil Acetate (EVA), deben ser transparentes a la radiación solar en el rango de longitudes de onda en donde el silicio tiene su respuesta espectral (0.35 a 1.2 μm). Dicha característica no debe disminuirse por las exposiciones prolongadas a la radiación solar y al clima.

El vidrio debe tener buena resistencia al impacto contar granizos, granos de arena arrastrados por el viento, e inclusive contra golpes accidentales. La superficie del vidrio debe ser dura, resistente a la abrasión, lisa y plana para garantizar la autolimpieza por medio de la lluvia, viento o rocío. No debe tener relieves que faciliten la acumulación superficial de lluvia, polvo o cualquier otra materia solida.

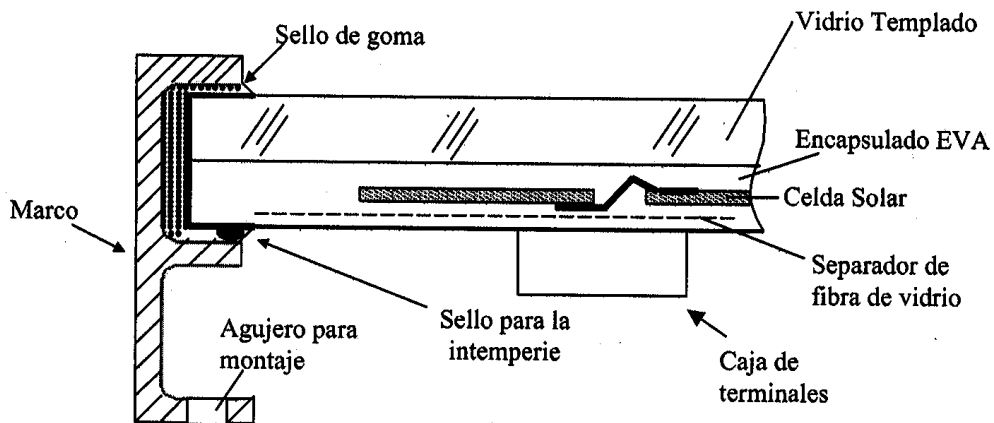


Fig.2.- Corte transversal de un módulo fotovoltaico, indicando sus principales componentes.

Para mantener la temperatura de operación lo más baja posible y maximizar su desempeño, el módulo debe diseñarse para tener una buena absorción del espectro de la radiación luminosa que no se aprovecha, y poder disipar calor vía procesos de radiación, convección y conducción.

Los polímeros para encapsulamiento deben ser resistentes a la permeabilidad de gases, vapor de agua y líquidos, cuya condensación dentro del módulo ocasionaría corrosión galvánica en los contactos eléctricos y en consecuencia cortos circuitos. Cualquier fuga en los sellos aumentaría la razón de absorción de gases beneficiando reacciones químicas adversas al dispositivo. El desprendimiento del laminado entre el vidrio y el encapsulante, o encapsulante y celdas, aumentan las pérdidas por reflexión. En consecuencia, tanto el vidrio como los polímeros no deben desprenderse bajo condiciones térmicas cicladas de frío y calor.

Generalmente, el laminado debe garantizar un aislamiento contra altos voltajes, los cuales pueden alcanzarse al conectar en serie varios módulos.

Las celdas que formaran un módulo deben seleccionarse con características casi idénticas: menos del 2% de dispersión para los valores de corriente a corto circuito y del voltaje a circuito abierto, ya que la eficiencia de un módulo dependerá de la radiación solar que su área intercepte, el factor de compactación de las celdas en

el modulo debe ser lo más alto posible. Es obvio que celdas cuadradas producen una compactación mayor que celdas circulares, sin embargo, si el área no es una limitante, no existe una restricción respecto del factor de compactación.

El modulo debe ser lo suficientemente rígido para soportar las frágiles celdas y darles protección durante los procesos de traslado e instalación. Debe ser capaz de absorber pequeñas imperfecciones o distorsiones en la estructura, soportar las vibraciones producidas por vientos fuertes, nieve, hielo y tolvaneras. Además deben ser fáciles de montar, interconectar y reemplazar. Los tornillos de montaje, terminales eléctricas, cajas de conexión y conectores deben ser anticorrosivos.

Dentro de los parámetros eléctricos que se deben considerar en un modulo fotovoltaico es la potencia nominal la cual es la potencia a la máxima irradiancia (1,000 W/m²), así que un modulo especificado como de 50 watt pico significa que entrega 50 watt a una irradiancia de 1000 W/m².

Los valores de los parámetros eléctricos de un modulo fotovoltaico los debe proporcionar el fabricante mediante una etiqueta de identificación colocada en la parte posterior del modulo. A la información vertida en dicha etiqueta se le conoce con el nombre de valores de placa. Ahí mismo deberá de incluirse la información del laboratorio de prueba que ha certificado a este como una unidad que ha pasado las pruebas de seguridad y de uso.

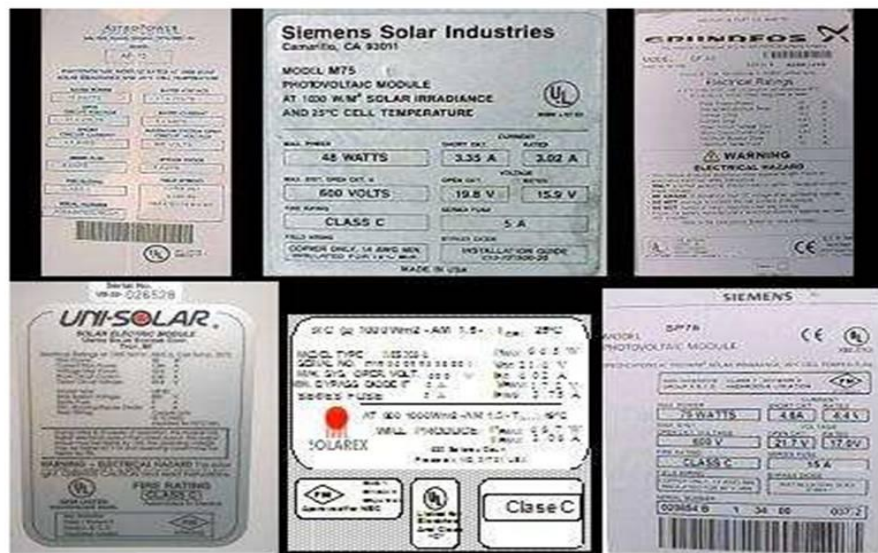


Fig. 3.- Etiqueta de identificación de varios módulos comerciales.

En muchas aplicaciones la potencia generada por el modulo no basta para activar una carga, una carga eléctrica por esta razón y usando la ventaja de que la generación de electricidad es de forma directa, los módulos se pueden conectar en serie o paralelo para incrementar la potencia de trabajo y formar una nueva estructura llamada arreglo fotovoltaico. Es importante considerar que para formar los arreglos fotovoltaicos, los módulos deben tener características eléctricas idénticas para evitar la formación de los llamados “puntos calientes” y desbalances eléctricos.

Si se considera que se tiene N módulos idénticos conectados en serie, las características eléctricas de esta nueva asociación, a la que se le llamara panel fotovoltaico, tendrán como voltaje, la suma de cada uno de los módulos; y como corriente, la misma corriente que genera un modulo.

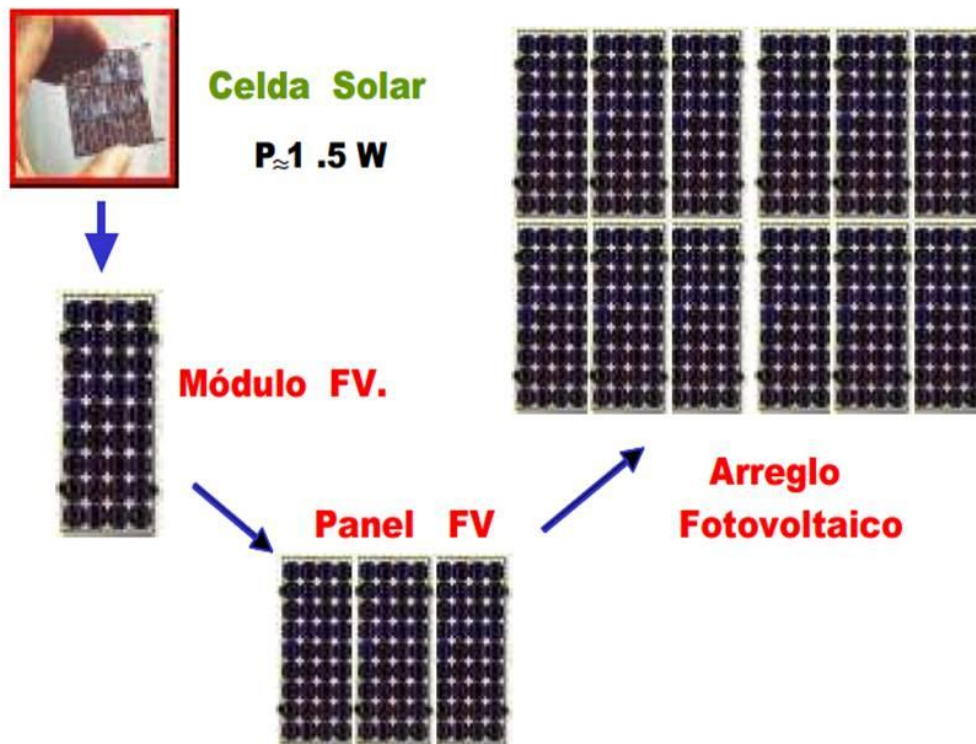


Fig.4.- Componentes fundamentales de un arreglo fotovoltaico.

La energía generada por un modulo, panel o arreglo fotovoltaico no solo depende de la potencia individual, sino que depende de la cantidad de radiación solar disponible en el sitio así como de factores geográficos y de orientación.

Para lograr la mayor captación de energía solar es necesario la orientación del arreglo fotovoltaico, de tal forma que los rayos solares caigan en forma perpendicular la mayor parte del día y durante el año. Para estructuras fijas se logra manteniendo el modulo o arreglo a un ángulo de elevación fijo, y así seguir al sol diariamente. Se estableció que debido a la declinación solar, el modulo debe de estar orientado hacia el Sur geográfico (o verdadero).

Si se desea que el modulo genere la máxima energía promedio al año, el ángulo de inclinación del modulo o arreglo, provisto por la estructura, debe ser igual al valor de la latitud del lugar.

Para el caso de los sistemas de bombeo la inclinación del arreglo debe de garantizar la máxima generación de energía con la que se tendrá la máxima producción de agua, en el mes con la mayor demanda de agua, la que coincide con el estiaje.

Los módulos fotovoltaicos presentan la característica única de que la electricidad que se genera es del tipo directo (corriente directa CD), lo que permite su posible almacenamiento en acumuladores electroquímicos, como lo son las baterías de plomo-acido. Con controladores electrónicos que regulan el estado de carga de las baterías, los módulos pueden suministrar la energía que requieran un conjunto de aparatos eléctricos (cargas en CD) cuyo funcionamiento no estaría limitado a las horas solares, si no a discreción del usuario. Además, gracias al avance de la electrónica que ha permitido diseñar inversores de carga que transforman la CD en corriente alterna (CA), los sistemas fotovoltaicos pueden usarse para alimentar cualquier tipo de carga eléctrica en CA.

Un sistema fotovoltaico autónomo es un conjunto de elementos que permiten generar y acondicionar la electricidad fotogenerada a un voltaje específico a partir de la energía luminosa del sol. Generalmente los sistemas fotovoltaicos están compuestos del arreglo fotovoltaico, la estructura, el acondicionador de energía y las cargas eléctricas.

Una configuración simple que corresponde a la conexión directa entre el arreglo y la carga eléctrica lo vemos típicamente en los sistemas de bombeo de agua basados en motores de corriente directa, por lo que se deberá estimar el tamaño del arreglo fotovoltaico que sea capaz de generar la electricidad que consumirá la carga durante el tiempo de su operación.

Al proceso de estimar el tamaño de un arreglo fotovoltaico que generara una energía requerida se le conoce con el nombre de dimensionamiento; o sea, es un procedimiento a través del cual se determina la potencia pico óptima del arreglo fotovoltaico que generara la energía necesaria que consumirá una carga para una aplicación específica en cierta localidad. Así mismo, se determina la capacidad del sistema de almacenamiento de energía, si es que es necesario, en base a los requerimientos de autonomía requeridos. Dado que los sistemas fotovoltaicos son caros, se deberá de instalar la potencia óptima para generar la energía requerida por las cargas eléctricas. Esto establece un criterio energético llamado “balance de energía”.

El criterio de balance de energía se puede escribir mediante la expresión siguiente:

“Energía Generada Igual a la Energía Consumida”

En la relación anterior, la energía consumida debe expresarse como un valor de consumo promedio al día, mientras que la energía generada se deberá de estimar al considerar las horas pico promedio de la localidad.

Para determinar el tamaño de un sistema de bombeo de agua, es necesario entender los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una obra. El tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la Carga Dinámica Total (CDT) y el volumen diario necesario. Este producto se conoce como ciclo hidráulico.

La carga dinámica total es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD):

$$CDT=CE+CD= \text{ Nivel Estático} + \text{ abatimiento} + \text{ altura de la descarga} + \text{ fricción}$$

La carga estática puede obtenerse con mediciones directas. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel de abatimiento del pozo hasta la altura en que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del abatimiento, el nivel estático y la altura de la descarga. Todos los pozos experimentan el fenómeno de abatimiento cuando se bombea agua. Es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante extracción de agua.

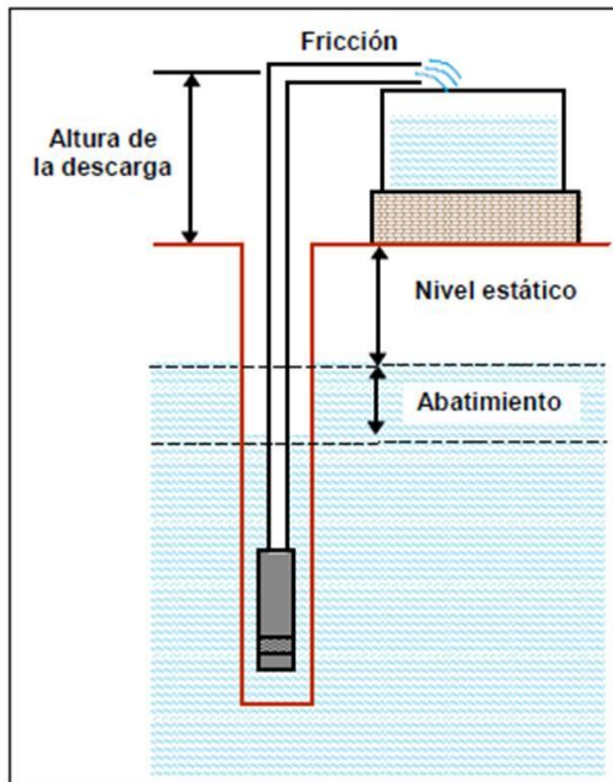


Fig.5.- Principales componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua.

La carga dinámica es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo del agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los tubos de plástico PVC de similar tamaño, influenciando también esta situación el diámetro de los mismos. Mientras más estrechos, mayor resistencia producida.

Para calcular la carga dinámica, es necesario encontrar la distancia que recorre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. Con esta información se puede estimar la carga dinámica de varias maneras: valor por omisión y mediante tablas de fricción.

Valor por omisión: La carga dinámica es aproximadamente el 2% de la distancia del recorrido del agua.

Tablas de Fricción: Existen tablas publicadas por fabricantes que indican el porcentaje de fricción que debe añadirse en base al caudal, diámetro y material de las tuberías.

BOMBEO DE AGUA CON TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

Actualmente hay miles de sistemas de bombeo fotovoltaico en operación en granjas y ranchos alrededor del mundo. Los sistemas fotovoltaicos pueden satisfacer un amplio rango de necesidades que van desde pequeños hatos (menos de 20 cabezas de ganado) hasta requerimientos moderados de irrigación. Los sistemas de bombeo solar son sencillos, confiables y presentan las siguientes ventajas y bondades: ^[9]

- No consumen combustible ya que operan con la luz solar
- No se producen desechos contaminantes durante la conversión
- No se genera ruido
- El sistema del que forman parte es en consecuencia de mínimo impacto ambiental
- En el proceso de generación no hay partes móviles, lo que indica un mantenimiento mecánico nulo
- No requieren de un operador para funcionar. Se diseñan para que opere automáticamente
- Los sistemas fotovoltaicos requieren de un mantenimiento mínimo para su funcionamiento y su costo de operación es bajo
- Son modulares, es decir solo se instala la cantidad de energía que requiere la aplicación, lo que los hace en sistemas con un factor de planta cercano a la unidad (la energía que se genera es cercana a la que se consume)

Estas ventajas deben considerarse cuidadosamente cuando se comparen los costos iniciales de un sistema convencional y un sistema de bombeo solar.⁸

Un sistema de bombeo fotovoltaico es similar a los sistemas convencionales excepto por la fuente de potencia. Los componentes principales que lo constituyen son: un arreglo de módulos Fotovoltaicos, un controlador, un motor y una bomba. El arreglo se puede montar en un seguidor pasivo para incrementar el volumen y el tiempo de bombeo. Se pueden emplear motores de corriente alterna (CA) o de corriente continua (CC). Las bombas pueden ser centrifugas o volumétricas. Generalmente el agua se almacena en un tanque.⁹

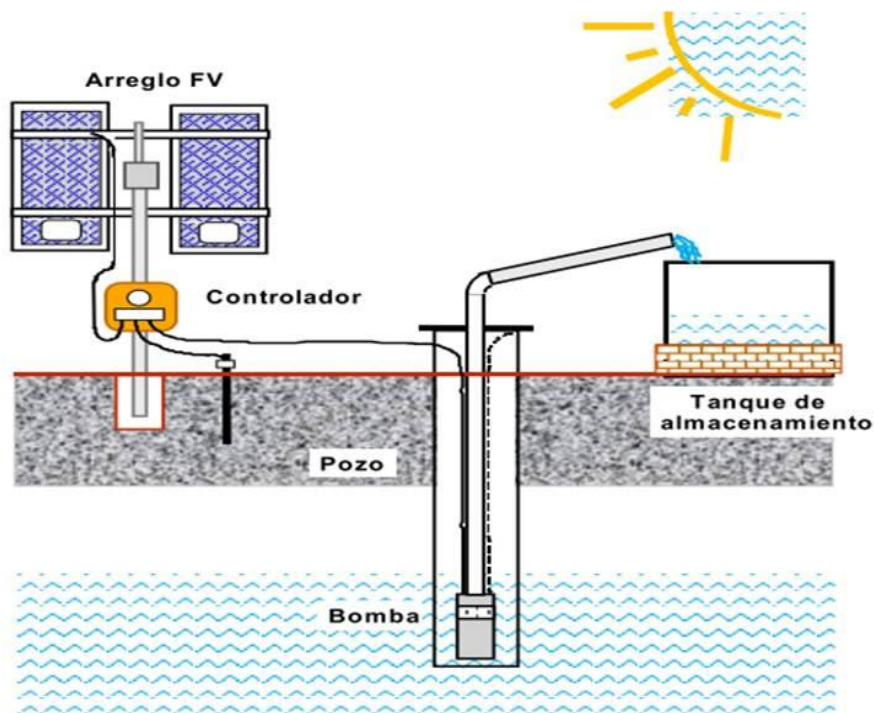


Fig.6.- Esquema de una instalación típica de un sistema fotovoltaico de bombeo de agua

El éxito de la aplicación de esta tecnología está directamente relacionado con el conocimiento de las condiciones y recursos del sitio; por lo que se deben de considerar los siguientes puntos:

- La disponibilidad de otras fuentes de energía como la electricidad de la red de distribución, gasolina, diesel, viento, etc.
- La aplicación que se pretende dar al agua extraída. Por ejemplo, abrevaderos para ganado, irrigación, consumo humano, etc.

- Las características del bombeo en términos de distancia, volumen y profundidad de la extracción del agua.
- La disponibilidad del recurso solar, es decir, que tanta energía solar hay en la región geográfica.

La disponibilidad de otras fuentes de energía es el primer factor que debe analizarse, por ejemplo debe investigarse la distancia a la red eléctrica más cercana o la existencia de bombas de motores de combustión interna, ya que podría ser mas costeable extender la red hasta el lugar de la obra o rehabilitar los motores de combustión interna. En el caso de la red eléctrica la pregunta inmediata es ¿Qué tan lejos deberá estar la red para que sea costeable su extensión? La respuesta es variable. En zonas desérticas la extensión podría costar unos ocho mil dólares por cada kilometro, mientras que en zonas montañosas el precio se elevaría a unos veinte mil dólares. Generalmente se considera la opción de tecnología solar en proyectos en que la red de distribución esta a más de medio kilometro. ^[8]

Es importante destacar que la disponibilidad de combustibles como la gasolina o el diesel a un precio accesible podría hacer que la opción de la tecnología fotovoltaica sea menos competitiva.

El factor del uso del agua se debe tener en cuenta, ya que típicamente esta tecnología se ha aplicado con mayor éxito en donde se requiere una baja demanda de agua como abrevaderos para ganado y consumo humano. El riego de parcelas de cultivo por lo general no es costeable debido a su gran demanda de agua y bajo valor de las cosechas obtenidas. La excepción es cuando se trata de parcelas con sistemas de riego eficientes y cultivos de baja demanda de agua.

Como se menciona anteriormente una buena indicación del tamaño y costo es el ciclo hidráulico, que es el producto del volumen diario por la profundidad. En el sistema métrico el ciclo hidráulico tiene unidades de m^4 . El recorrido horizontal se considera insignificante en este caso. Por ejemplo, 5 m^3 extraídos de una profundidad de 15 m dan un ciclo hidráulico de 75 m^4 . Así mismo, 15 m^3 extraídos de una profundidad de 5 m también dan 75 m^4 . En ambos casos la energía requerida es la misma y el costo de estos sistemas es muy similar. ¿Cuando se considera que el sistema es muy grande para el bombeo fotovoltaico? La experiencia muestra que un proyecto es económicamente factible cuando el ciclo hidráulico no sobrepasa los 1,500 m^4 . Los sistemas de bombeo de combustión interna o eólicos son más competitivos cuando se requiere un ciclo hidráulico mayor.

El ciclo hidráulico de un proyecto permite determinar la tecnología más apropiada. Como se menciona en general 1,500 m⁴ es una buena cifra para decidir si se implementa un bombeo solar o no.

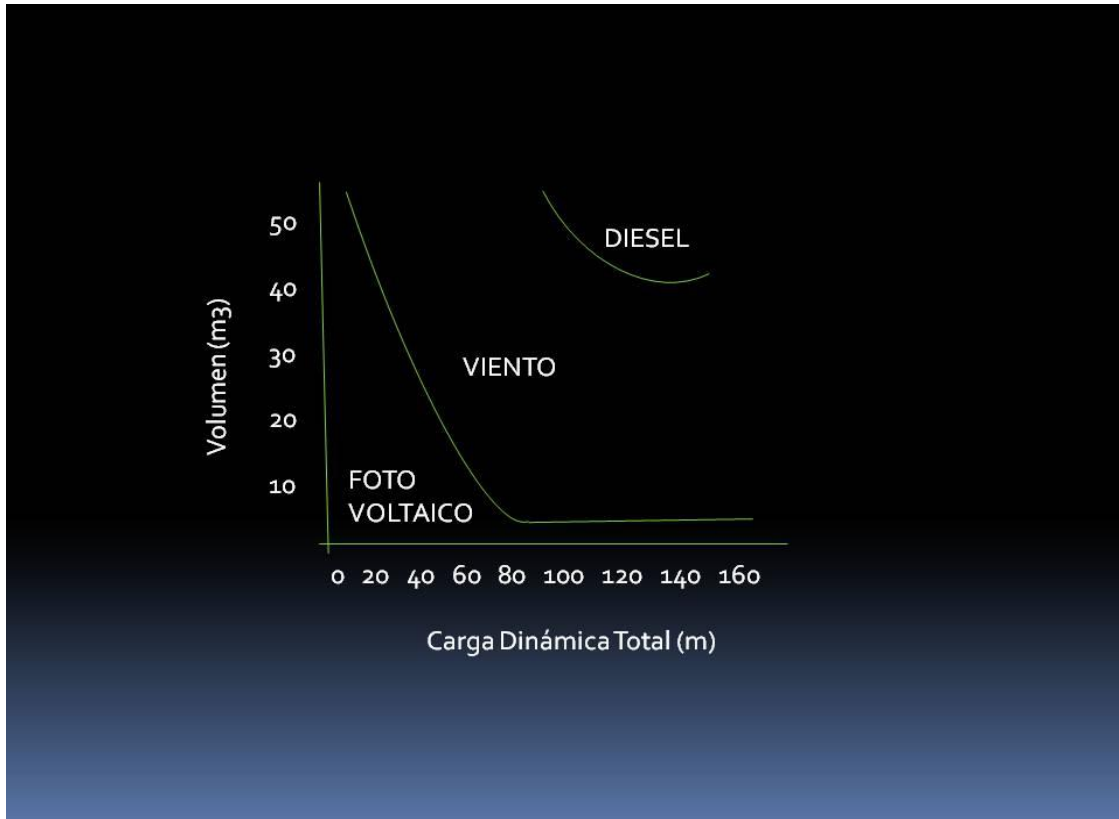


Fig.7.- Selección de tecnología de bombeo de acuerdo al ciclo hidráulico.

DISPONIBILIDAD DEL RECURSO SOLAR

México cuenta con un excelente recurso solar en casi todo su territorio. En la mayor parte del país, todos los días son largos y despejados durante verano. En el

campo hay una relación directa a favor del uso de la energía solar: los días de mayor necesidad de agua son aquellos en que el sol es más intenso.

La energía de la radiación solar que se recibe en una superficie determinada en un instante dado se le conoce como Irradiancia y se mide en unidades W/m^2 . La irradiancia es un valor distinto para cada instante, es decir se espera que en un día despejado la irradiancia a las 10:00 A.M. será diferente y menor a la que se obtiene a la 1:00 P.M., esto se debe al movimiento de rotación de la tierra.

Otro concepto importante es el de Insolación, este corresponde a la integración de la irradiancia en un periodo determinado. En otras palabras es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Este término tiene unidades de energía por área, comúnmente Watts-hora por metro cuadrado ($W-h/m^2$). Generalmente se reporta este valor como una acumulación de energía horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de $1,000 W/m^2$. La energía útil que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe.

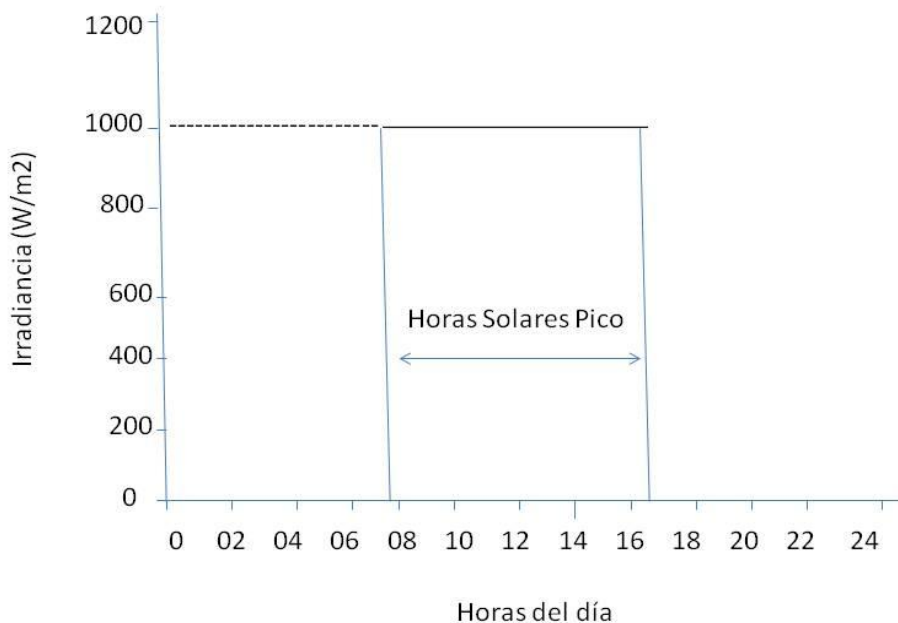


Fig. 8.- Irradiancia y horas solares pico (Insolación) durante un día soleado

Existen en la actualidad mapas y tablas que indican la insolación mensual promedio para diferentes zonas geográficas. La insola. Se recomienda que los sitios en donde se pretenda instalar un sistema de bombeo fotovoltaico debe de contar con al menos 3 kwh/m2 para garantizar su funcionamiento óptimo.

La siguiente es una tabla que contiene algunos Estados de la Republica Mexicana con datos de insolación:

ESTADO	CIUDAD	MIN	MAX	MEDIA
Chiapas	Arriaga	4.7	5.9	5.4
Chihuahua	Cd. Juárez	5.9	7.4	6.7
Coahuila	Piedras Negras	3.1	6.7	4.8
Coahuila	Saltillo	3.3	5.9	4.8
Guanajuato	Guanajuato	4.4	6.6	5.6
Jalisco	Puerto Vallarta	4.7	6.0	5.5
Zacatecas	Zacatecas	4.1	7.8	5.8

Fig.9.- Insolación global media en kwh/m2

Fuentes: Actualización de los mapas de irradiación Global en la Republica Mexicana (R. Almanza S., E. Cajigal R., J. Barrientos A. 1977).Reportes de Insolación en México. Southwest Technology Development Institute, NMSU, 1999.

El diagrama de flujo de la siguiente figura muestra una alternativa para llevar a cabo la selección del tipo de tecnología que se puede utilizar para un sistema de bombeo de agua, ya sea un sistema convencional o un sistema fotovoltaico. El dato más importante que se debe conocer para diseñar un sistema de esta naturaleza, es la demanda que se va a satisfacer.

Para la selección se consideran parámetros como la distancia de la red eléctrica, ciclo hidráulico y el recurso solar que posee el sitio.

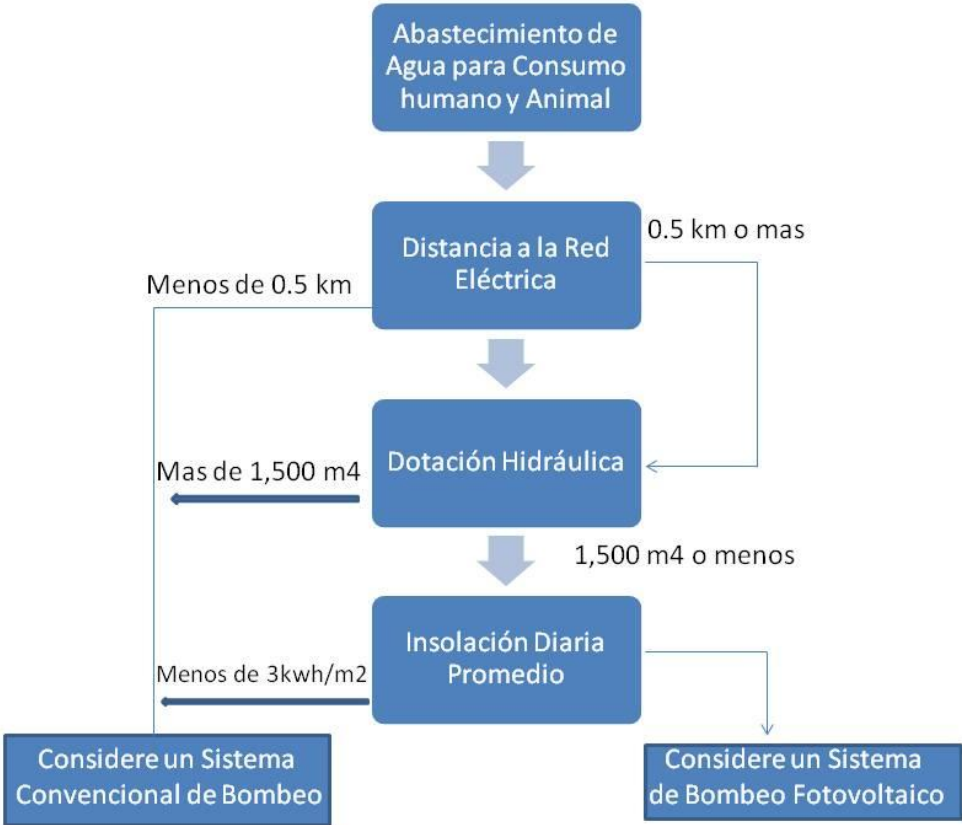


Fig.10.- Diagrama de flujo de decisiones para bombeo considerando dos tecnologías de generación de energía.

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Almacenar agua en tanques es mucho más económico que almacenar energía en baterías. Después de cinco a siete años, las baterías necesitan reemplazarse, mientras que la vida útil de un tanque de almacenamiento bien construido es de varias décadas. Las necesidades de agua para consumo humano y de animales requieren del uso de estos tanques de almacenamiento básicamente para asegurar este consumo sobre todo cuando hay días nublados. El almacenamiento por baterías normalmente se justifica solo cuando el rendimiento máximo del pozo durante las horas de sol es insuficiente para satisfacer las necesidades diarias de agua y cuando se requiere bombear agua durante la noche. A largo plazo, podría ser más económico perforar otro pozo que adquirir baterías para almacenaje de energía. La introducción de baterías en un sistema de bombeo fotovoltaico podría reducir su confiabilidad e incrementar sus requerimientos de mantenimiento. En general no se recomienda utilizar baterías en sistemas de bombeo fotovoltaico.

EQUIPO DE BOMBEO COMPATIBLE CON SISTEMA FOTOVOLTAICOS

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas pensando en que hay una fuente de potencia constante. Por otro lado, la potencia que producen los módulos fotovoltaicos es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar. Es decir, a medida que el sol cambia su posición durante el día, la potencia generada por los módulos varía y en consecuencia la potencia entregada a la bomba. Por esta razón se han creado algunas bombas especiales para la electricidad fotovoltaica las cuales se dividen desde el punto de vista mecánico en centrifugas y volumétricas.

BOMBAS CENTRIFUGAS

Tienen un impulsor que por medio de la fuerza centrífuga de su alta velocidad arrastran agua por su eje y la expulsan radialmente. Estas bombas pueden ser

sumergibles o de superficie y son capaces de bombear el agua a 60 metros o más, dependiendo del número y tipo de impulsores. Están optimizados para un rango estrecho de cargas dinámicas totales y la salida de agua se incrementa con su velocidad rotacional.

Las bombas de succión superficial se instalan a nivel de suelo y tienen la ventaja de que se les puede inspeccionar y dar servicio fácilmente. Tienen la limitante de que no trabajan adecuadamente si la profundidad de succión excede los 8 metros.

Hay una gran variedad de bombas centrífugas sumergibles.^[10] Algunas de estas bombas tienen el motor acoplado directamente a los impulsores y se sumergen completamente. Otras tienen el motor en la superficie mientras que los impulsores se encuentran completamente sumergidos y unidos por una flecha. Generalmente las bombas centrífugas sumergibles tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple.

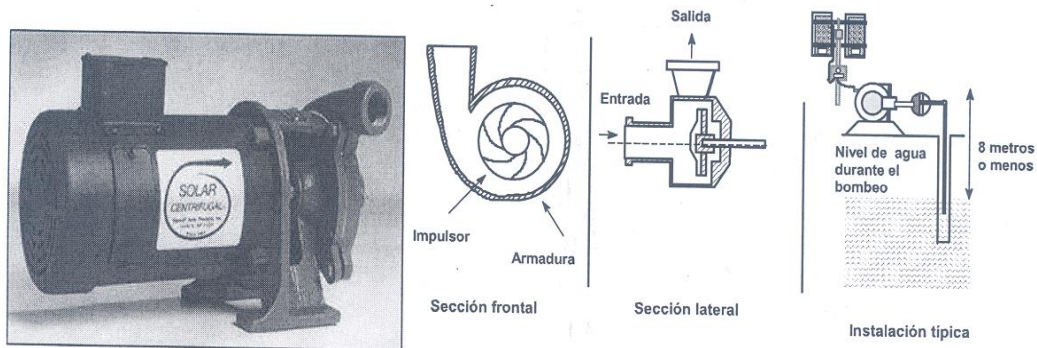


Fig.11.- Bomba centrífuga superficial.

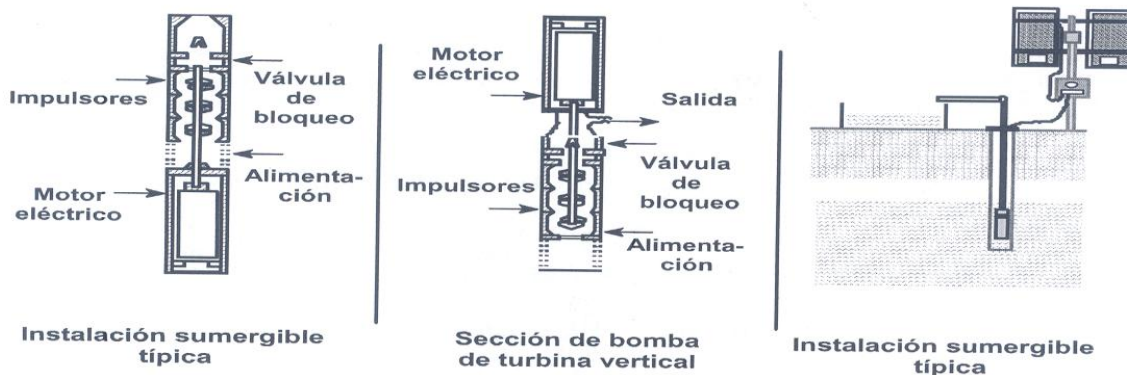


Fig.12.- Esquema de una bomba centrífuga sumergible.

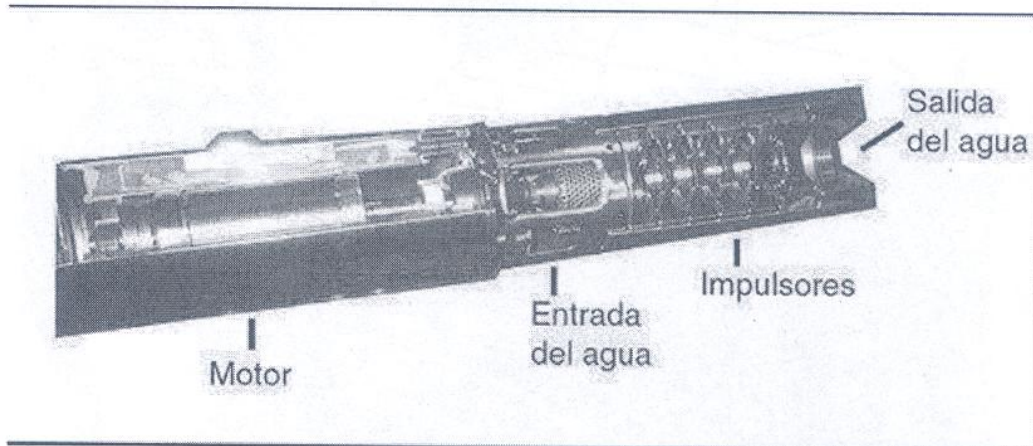


Fig.13.- Corte transversal de una bomba sumergible de paso múltiple.

Todas las bombas sumergibles están selladas y tiene el aceite de lubricación contenido para evitar contaminar el agua. Otras bombas utilizan el agua misma como lubricante. Estas bombas no deben operarse en seco porque sufren sobrecalentamiento y se queman.

BOMBAS VOLUMÉTRICAS

Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover paquetes de agua a través de una cámara sellada. Otras utilizan un pistón con diafragmas. Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba. El caudal es proporcional al volumen de agua. Esto se traduce a un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas. Cuando la radiación solar aumenta también aumenta la velocidad del motor y por lo tanto el flujo de agua bombeada es mayor.

Las Bombas volumétricas de cilindro, han sido muy populares en aplicaciones de bombeo mecánico activadas por el viento, tracción animal o humana. Su principio consiste en que cada vez que el pistón baja, el agua del pozo entra en su cavidad y cuando este sube, empuja el agua a la superficie. La energía eléctrica requerida para hacerla funcionar se aplica solo durante una parte del ciclo de bombeo. Las

Bombas de esta categoría deben estar siempre conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo la potencia otorgada por el arreglo fotovoltaico.

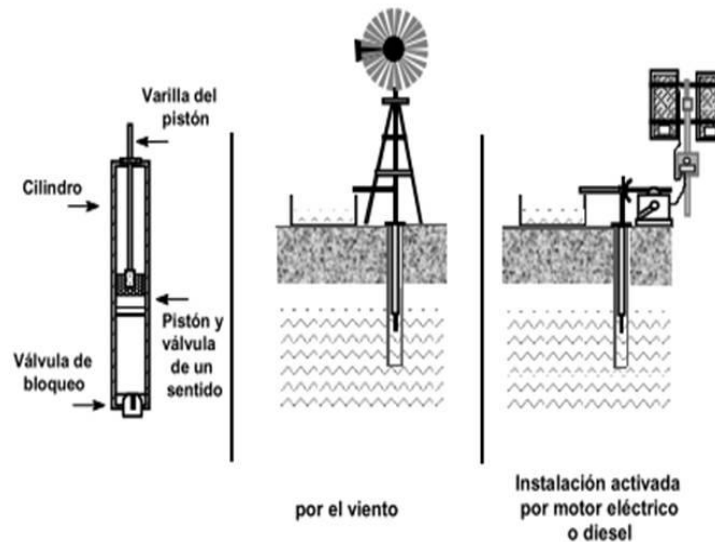


Fig.14.- Esquema de una bomba volumétrica de cilindro.

Las Bombas de diafragma desplazan el agua por medio de diafragmas de un material flexible y resistente. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos. En la actualidad, estos materiales son muy resistentes y pueden durar de dos a tres años de funcionamiento continuo antes de requerir reemplazo, dependiendo de la calidad del agua. Los fabricantes de estas bombas producen un juego de diafragmas para reemplazo que pueden adquirirse a un precio razonable. Existen modelos sumergibles y no sumergibles.

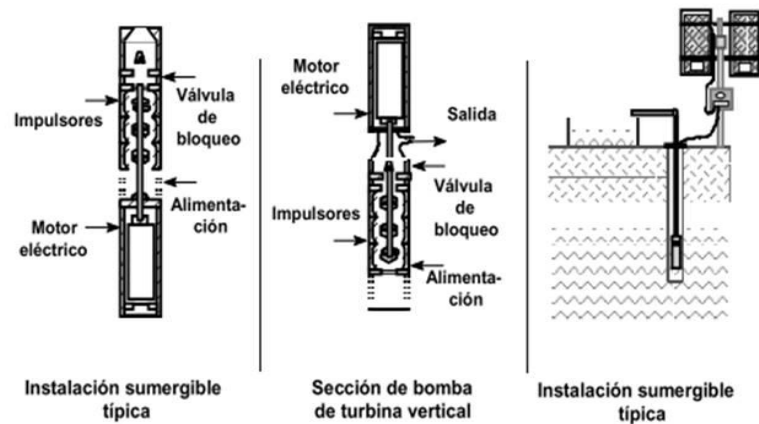


Fig.15.- Esquema de una bomba de diafragma sumergible.



Fig.16.- Bomba de diafragma superficial (Shurflo).

Las bombas de diafragma son económicas. Cuando se instala una bomba de este tipo siempre se debe considerar el gasto que representa el reemplazo de los diafragmas una vez cada dos o tres años. Más aun, muchas de estas bombas tienen un motor de corriente continua con escobillas. Las escobillas también deben cambiarse periódicamente. Los juegos de reemplazo incluyen los diafragmas, escobillas, empaques y sellos. La vida útil de este tipo de bomba es aproximadamente 5 años de uso.

SELECCIÓN DE LA BOMBA

Como se ha visto, las bombas centrífugas y volumétricas ofrecen diferentes alternativas para diferentes rangos de aplicación. El proceso de selección de la bomba para un proyecto es de suma importancia. Todas las bombas tienen que usar la energía eficientemente ya que en un sistema fotovoltaico, la energía cuesta dinero. En general, se debe tener una idea clara de que tipo de bomba es la más adecuada; este proceso de selección de la bomba se complica debido a la multitud de marcas y características de cada bomba. Un solo fabricante puede ofrecer más de 20 modelos de bombas y cada una tiene un rango óptimo de operación.

Las bombas más eficientes son las de desplazamiento positivo de pistón, pero no son recomendables para gastos medianos y grandes a baja carga dinámica total.

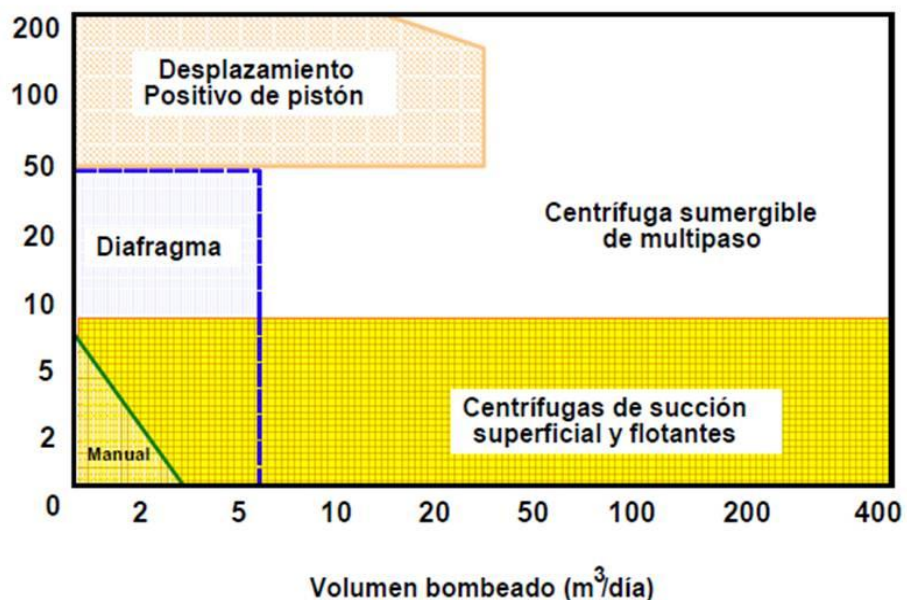


Fig.17.- Indica el tipo de bomba adecuada según CDT y volumen deseado.

TIPOS DE MOTORES

La selección de un motor depende de la eficiencia, disponibilidad, confiabilidad y costos. Comúnmente se usan dos tipos de motores en aplicaciones fotovoltaicas: de Corriente Continua (de imán permanente y de bobina) y de Corriente Alterna. Debido a que los arreglos fotovoltaicos proporcionan potencia en Corriente Continua (CC), los motores de CC pueden conectarse directamente, mientras que los motores de Corriente Alterna (CA) deben incorporar un inversor CC-CA. Los requerimientos de potencia en watts pueden usarse como una guía general para la selección del motor. Los motores de CC de imán permanente, aunque requieren reemplazo periódico de escobillas, son sencillos y eficientes para cargas dinámicas pequeñas. Los motores de CC de campos bobinados (sin escobillas) se utilizan en aplicaciones de mayor capacidad y requieren de poco mantenimiento. Aunque son motores sin escobillas, el mecanismo electrónico que sustituye a las escobillas puede significar un gasto adicional y un riesgo de descompostura.

Los motores de CA son más adecuados para cargas dinámicas grandes en el rango de diez o más caballos de fuerza. Estos son más baratos que los motores CC, pero requieren de un inversor CC-CA que se agrega a los gastos iniciales y gastos potenciales de mantenimiento. Los sistemas de CA son ligeramente menos eficientes que los sistemas CC debido a las pérdidas de conversión. Los motores de CA pueden funcionar por muchos años con menos mantenimiento que los motores CC.

ACONDICIONAMIENTO DE ENERGÍA

Los acondicionadores de energía son dispositivos electrónicos que pueden mejorar del 10 al 15% el rendimiento de un sistema de bombeo solar. Su aplicación está justificada cuando se requiere que la bomba opere más tiempo al día, o bien, cuando la bomba a usar está acoplada a un motor de corriente alterna.

Desde el punto de vista de operación un acondicionador de energía para un sistema de bombeo fotovoltaico puede ser cualquiera de los siguientes dispositivos electrónicos: un convertidor CD-CD llamado seguidor de máxima potencia, un centro de control en CD formado por un seguidor de máxima potencia, sensores de nivel y terminales de conexión, y/o un centro de control formado por un inversor CD-CA acoplado a un seguidor de máxima potencia con sensores de nivel para control de bombeo y terminales de conexión. En todos los casos el acondicionador de energía consume del 4 al 7% de la potencia del arreglo. Es común que las bombas fotovoltaicas se vendan junto con el acondicionador de energía apropiado para operarlas eficientemente.

Una de las desventajas que ha impedido el uso masivo de esta tecnología en el ámbito rural es su alto costo, dado que existen muy pocas posibilidades de financiamiento, las inversiones iniciales son grandes, que al comparar con las tecnologías convencionales para generar electricidad (generadores de diesel, gas o gasolina), indican erogaciones del orden de 5 veces o más para los sistemas fotovoltaicos, que lo que se invierte en las otras. Aunado a esto se tiene la carencia de personas capacitadas que provean servicios técnicos especializados de venta y posventa.

No obstante los altos costos de inversión inicial, con la aplicación de programas gubernamentales de desarrollo social, educativo y económico, esquemas de financiamiento, iniciativas en el sector público y privado en función de sus necesidades energéticas, han permitido que esta tecnología tenga sus nichos de aplicación. En ellos se ha demostrado las bondades mencionadas de la tecnología fotovoltaica comparada con las convencionales. El ejemplo de esto ha sido la implementación de dos programas gubernamentales sociales, uno de iluminación básica y el otro para bombeo de agua, basados en el uso de la tecnología fotovoltaica, que han permitido establecer y confirmar que esta tecnología es la mejor alternativa, tecnológica y económicamente más viable, para generar electricidad con fines sociales y productivos en sitios alejados de las líneas de distribución eléctrica.

MANEJO DEL GANADO Y DEL AGOSTADERO APARTIR DE SUMINISTRO DE AGUA POR MEDIO DE BOMBEO FOTVOLTAICO

Como se ha venido mencionando el bombeo del agua es una de las más sencillas, costeables y adecuadas aplicaciones de las tecnologías de energía solar en comunidades rurales, no obstante, al igual que todos los proyectos de desarrollo, la consideración de los apoyos institucionales debe de estar presente para lograr el éxito a largo plazo y disminuir en buena medida los costos de inversión.

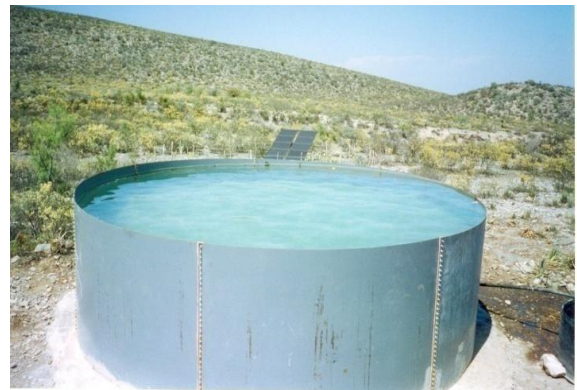
La sustentabilidad de los proyectos implica el desarrollo económico y el impacto social sin detrimento de los recursos ambientales y naturales. ^[11] Con el uso de tecnologías de energía renovable para el bombeo de agua en aéreas rurales, la sustentabilidad proporciona a los consumidores el acceso local a proveedores calificados, equipo de alta calidad, capacidades de mantenimiento a precios y planes de pago razonables. Esta sustentabilidad va de la mano con un manejo adecuado tanto del ganado y de los agostaderos, mediante la distribución del agua en los mismos y dejando que estas aéreas “descansen” para así evitar el sobre pastoreo.

Básicamente el estado de Coahuila se encuentra localizado en una zona donde predomina el clima árido y semi-árido, por lo que es importante reconocer varios riesgos, entre ellos factores de tipo climático que han dado como resultado largos períodos de seca en donde las precipitaciones van del rango de los 250 a 325 mm anuales, por lo que las empresas agropecuarias tienden a coincidir las épocas de producción con los períodos de lluvias para asegurar las actividades productivas.

La situación en que se encuentra el sector agropecuario está influenciada por riesgos propios de la actividad y de acuerdo a la recesión y crecimiento de la economía del país. Por otra parte el productor no cuenta con infraestructura y equipo, careciendo básicamente de recursos para llevar a cabo acciones, que permitan desarrollar su actividad, por lo que una orientación y apoyo técnico adecuado permitirá en buena medida el acondicionamiento, transformación y comercialización de estas organizaciones agropecuarias.



Por lo que respecta a los sistemas de producción pecuarios, son básicamente de tipo tradicional en donde se explota la ganadería bovina extensiva para producción de carne y caprino doble propósito, por lo que se hace énfasis en que una orientación de tipo técnico influye directamente en un gran beneficio para hacer rentables este tipo de explotaciones considerando los recursos disponibles; por otra parte un papel fundamental ha venido a significar la introducción de la tecnología de energía renovable en el sector agropecuario en el estado de Coahuila, ya que con los sistemas de bombeo fotovoltaicos vienen a impactar y a revolucionar las empresas agropecuarias de la región.



Los principales productos que se obtienen en el sistema bovino productor de carne son becerros al destete, desechos y ganado gordo, por lo que respecta al sistema caprino también se produce destete para consumo local, desechos y ganado gordo

IMPLICACIONES PRACTICAS DE MANEJO.

Mediante la obtención de nuestros requerimientos de agua en un rancho, nos permite planear las necesidades de infraestructura como lo es el tamaño de una

pila de almacenamiento, número de bebederos y la cantidad de línea de conducción. En primer lugar debemos de conocer nuestro inventario ganadero y saber el número de cabezas de ganado que se encuentran en la unidad ganadera, si tenemos que son 100 bovinos adultos (hembras y machos) se multiplica ese valor por 50 litros de requerimiento de agua (ver Cuadro 1), lo cual da un resultado de 5,000 litros de consumo de agua por día, a partir de aquí este valor nos da una idea de que debemos de contar con una fuente de almacenamiento prefabricada o que se tenga que construir para una capacidad de 6 a 8 m³. Así mismo si las circunstancias del terreno permiten ubicar esta fuente de almacenamiento de tal manera que mediante gravedad se distribuya el agua a bebederos que estén distribuidos en forma estratégica, permitirá una menor movilización de ganado y mejorar el manejo del agostadero.

A continuación se muestra algunos parámetros que se lograron obtener durante el período de 2000-2007 en el Estado de Coahuila, dentro del Programa de Energía Renovable operado por FIRCO y con la participación de recursos del GEF (Global Environment Facility) resultando beneficiados un total de 1,604 productores, cuyas actividad principal la desarrollan en el sector Agropecuario.^[12]

AÑO	N ^a PROY	I M P O R T E S				POTENCIA INST., W	VOLUMEN LTS / DIA
		(miles de pesos)					
		GOBIERNO	*GEF	PROD.	TOTAL		
2000	2	39.75	29.81	29.81	99.37	630	9,000
2001	13	466.96	243.49	220.84	931.29	6,010	147,280
2002	31	1,241.59	642.37	257.28	2,141.24	16,805	352,900
2003	30	1,199.43	654.88	328.63	2,182.94	11,770	257,840
2004	35	2,232.88	960.77	646.68	3,840.33	28,805	382,200
5 AÑOS	111	5,180.61	2,531.32	1,483.24	9,195.17	64,020	1,149,220

*Fondo global para el medio ambiente

IMPACTOS

Al contar con agua permanente con oportunidad y distribuida estratégicamente, gracias a un eficiente almacenamiento y distribución hacia los abrevaderos, se ha logrado abatir el índice de mortandades promedio en un 17 % e incrementar el porcentaje de pariciones en un 12%, así mismo y por contar con agua en lugares que anteriormente era inaccesibles para el ganado se mejoró el índice de utilización de las áreas de pastoreo.

ECONÓMICOS

Al dejar de usar equipos de bombeo de combustión interna que requieren de combustibles y a que los módulos solares operan eficientemente de manera autónoma, se logró disminuir los costo de operación en mano de obra, mantenimiento, así como a los consumos y traslados de combustibles.

SOCIALES

En lo que respecta al efecto social, el sentir de la totalidad de los productores beneficiados y sus familias, están plenamente convencidos de que su calidad de vida mejoró considerablemente por contar de forma permanente con agua de calidad y oportunidad.

PERSPECTIVAS DEL USO DE LA ENERGÍA RENOVABLE

Aceptación de la tecnología: Los sistemas de bombeo accionados con energía solar han demostrado una muy buena aceptación por parte de los usuarios con lo que se ha logrado uno de los principales objetivos de la aplicación de esta energía, romper la barrera de desconocimiento de esta tecnología.

Crecimiento a futuro: Tanto productores, como funcionarios y técnicos de las diferentes dependencias del sector en el Estado, ven atractivo el continuar utilizando la energía fotovoltaica como una alternativa confiable técnica y económicamente viable para el bombeo de agua en proyectos productivos en donde se justifique su uso, por lo que se prevé que para el futuro se incremente la demanda en proyectos en donde para la inversión se pueda contar con los apoyos gubernamentales o mezcla de recursos que hagan más atractiva esta opción.



CONCLUSIONES

La tecnología fotovoltaica para generar potencia eléctrica se ha convertido en la mejor alternativa para producir electricidad debido a todas las bondades que presenta. El éxito de su uso puede enfatizarse debido a lo siguiente: no hay partes móviles, infiriendo bajo mantenimiento y cero contaminación, no hay consumo de combustible, y por lo tanto nula contaminación ambiental y disminución de gastos

a futuro por ese concepto; son de fácil manejo por lo que hay una alta probabilidad de adopción y de aceptación; larga duración indicado por una garantía de fabricación de 20 años o más; es modular por lo que los sistemas presentan el más alto rendimiento comparado con cualquier otro sistema de generación de energía.

Una vez puesta esta tecnología en las instalaciones agropecuarias y a sabiendas de contar con el vital líquido y tener la disponibilidad de almacenarlo esto permite la posibilidad de hacer un manejo más adecuado de los agostaderos mediante líneas de distribución de agua, lo que al final del ciclo redundara en incrementos productivos asociado a un manejo adecuado del agostadero.

BIBLIOGRAFIA

1. Tecnología Fotovoltaica: Reseña del fenómeno y Estado actual de la tecnología: Aarón Sánchez Juárez, José Ortega Cruz y Mishael Sánchez Perez.,2009
2. D.Y. Goswami, Principles of solar Engineering; Taylor and Francis, second ed., 2000.
3. Fuente Fac. de Veterinaria y Zootecnia, UNAM
4. Herrera Toledo C., C.N.A., “Recursos Hídricos en México”: (1998), Revista Ingeniería Civil, CICM. No.349, p. 41.
5. E. Lorenzo “Electricidad Solar” ediciones Progensa., 1994.
6. Reporte interno de la Comisión Federal de Electricidad, “Las Fuentes de Energía”, (2000), Museo Tecnológico D.F., CFE.
7. M. Reineke, “Photovoltaic power as a utility service: Guidelines for livestock water pumping”, (1993) Sandia National Laboratories No. SAND93-7043, USA.
8. Programa PRONASOL en el sexenio 1988-1994 para electrificación rural.
9. M. G. Thomas, “La opción solar para el bombeo de agua”, (1992) Sandia National Laboratories, PV Design Assistance Center Sandia National Laboratories.
10. Wyatt, “Water pumping with Wind Energy in Morocco”, (1986) Research Triangle Institute, North Carolina. Trabajo presentado durante el Workshop on Water Pumping with Wind and Solar Energy, 1992 Mexico City.
11. Fuente: Datos económicos de sistemas de bombeo fotovoltaico instalados en el periodo 1994-2001, Programa de Energías Renovables para México de Sandia National Laboratories, y Programa de Energías renovables para el Desarrollo Rural, FIRCO-SAGARPA.M. Calixto R., “Aspectos energéticos y económicos en sistemas de bombeo fotovoltaico”, (2002), Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado de la Fac. de Ingeniería, UNAM.
12. Fuente: Fideicomiso de Riesgo Compartido Gerencia Estatal Coahuila, Programa de Energía Renovable para la Agricultura, Evaluación 2000-2007.