



REPORTE FINAL DE ESTADÍA

Juan Pablo López Cortes

Diseño e implementación de un sistema de bombeo solar fotovoltaico



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



VERACRUZ
GOBIERNO
DEL ESTADO



SEV
Secretaría
de Educación



DET
Dirección de Educación
Tecnológica del Estado
de Veracruz

SEMSyS
Subsecretaría de Educación
Media Superior y Superior

Ingeniería en Energías Renovables

Diseño e implementación de un sistema de bombeo
solar fotovoltaico

REPORTE FINAL DE ESTADÍA

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Juan Pablo López Cortes

ASESORES DE PROYECTO: Ing. Edgar Eduardo Luna de la Luz

Dr. Juan Manuel Padilla Flores

CUITLÁHUAC, VER.

Marzo, 2022

AGRADECIMIENTOS

A mis padres; Jaime López Reyes y María Humilda Cortes López por el apoyo incondicional que me han brindado en mis momentos más difíciles y siempre creyeron en mí, enseñándome la oportunidad de luchar y alcanzar cada una de mis metas, sin importar las adversidades que se presenten para alcanzarlas. Sin ustedes nada hubiera sido posible.

A mis hermanos; Víctor y Jaime Alberto, son la motivación de seguir adelante

A mi asesor académico, Dr. Juan Manuel Padilla por guiarme desde el inicio de mis estadías, además por brindarme su confianza, tiempo dedicado y orientación en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A todos mis profesores dentro de la universidad, por darme los conocimientos, herramientas necesarias y consejos durante mi carrera universitaria.

A mi compañera Alexandra, por ser una increíble amiga y compañera.

A mis compañeros y amigos que conocí en mi estancia de la universidad, por hacer mi vida universitaria más divertida y alegre, gracias por ser parte de esta etapa de mi vida.

RESUMEN

El siguiente trabajo abordará la propuesta, de un sistema de bombeo solar con la ayuda de la energía solar transformándola a energía eléctrica, así evitando el uso de generadores a gasolina y generando un ahorro en compra de combustibles fósiles como evitar gases de efecto invernadero.

De acuerdo con el informe CFE, (2021). En la actualidad se identifica que 6 mil 497 grupos poblacionales de 838 municipios distribuidos en las 32 entidades no cuentan con luz al cierre del segundo trimestre de 2021.

La energía solar tiene muchos usos, uno de ellos es generar energía eléctrica con celdas solares, el cual se puede aprovechar en el sector agropecuario para riego de cultivos no obstante también es para disminuir el uso de las plantas generadoras a gasolina o disminuir los costos a tarifas eléctrica que se utilizan para el riego en algunos lugares.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	3
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
Marco teórico	9
Energías renovables	9
Tipos de energía renovables	9
Radiación solar	9
DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR	10
Fotones	11
La invención de la celda de energía solar	12
paneles solares	12
Estructuras de aluminio	13
Cultivo (caña de azúcar)	14
Riego de cultivos (caña de azúcar)	15
Pozo de agua	15
Extracción de líquido de un pozo	16
Variador de frecuencia	18
¿Cómo funciona un variador?	18
1.2 Planteamiento del problema	19
1.3 Objetivos	20
1.4 Objetivos específicos	20
1.5 Hipótesis	20
1.6 Justificación de proyecto	20
1.7 Alcances y limitaciones	21
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	21
Cálculo de consumo de agua para riego	23
Tipo de bomba	24
Cálculo de paneles	24
Variador de frecuencia	25
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL PROYECTO	26
Materiales	26

Herramientas	26
Reconocimiento del terreno.....	27
Preparación de bases de carga	27
Instalación de estructura para el sistema solar	28
Instalación de los paneles solares	29
Instalación del cableado	30
Instalación de gabinete	30
Instalación de variador de frecuencia	31
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	33
4.1 Resultados	33
Inversión del sistema.....	34
Inversión en planta generadora a gasolina	35
Retorno de inversión	35
4.2 Conclusiones	36
4.3 Trabajos futuros	36
ANEXOS	36
BIBLIOGRAFÍA.....	40
Referencias	40

ÍNDICE DE IMÁGENES

imagen 1 llegada de la luz solar a la tierra	10
imagen 2 espectro electromagnético	11
imagen 3 composición de celda solar	13
imagen 4 base de aluminio con carga	14
imagen 5 base de aluminio sola imagen.....	14
imagen 6 extracción de agua	16
imagen 7 bomba sumergible.....	17
imagen 8 conexión de variador	19
imagen 9 diagrama de bombeo solar.....	22
imagen 10 radiación solar mes de marzo	22
imagen 11 excavación	28
imagen 12 base de concreto	28
imagen 13 patas de estructura	29
imagen 14 armado de estructura.....	29
imagen 15 montaje de paneles	30
imagen 16 alineación de paneles.....	30
imagen 17 gabinete instalado	31
imagen 18 instalación de variador solar	32

imagen 19 bomba con potencia mínima	imagen 20 bomba con potencia
máxima.....	33
imagen 21 hoja de datos celdas solares.....	38
imagen 22 consumo de bomba	imagen 23 datos de bomba
imagen 24 variador solar características.....	40

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 horas solares.....	23
Tabla 2 rangos máximos operativos de variador	25
Tabla 3 inversión de materiales	34
Tabla 4 inversión total.....	34
Tabla 5 inversión de gasolina	35
Tabla 6 toneladas de cañas por hectárea	37

Lista de abreviaturas

M³: metros cúbicos

L: litros

I: Longitud

T: Tiempo

A: Intensidad de corriente

lm: Lumen

Km/s: Kilómetro por segundo

nm: Nanómetro

µm: Micrómetros

Hz: Hertzios

kW: Kilo watts

A: amperio

V: Voltios

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables son fuentes de energías limpias, e inagotables. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero causantes del cambio climático ni emisiones contaminantes. Además de sus bajos costos comparado con los combustibles fósiles.

Se aprovechará la radiación solar con módulos solares transformándola en energía eléctrica para un sistema de riego en plantaciones de diversos cultivos o diversos sectores de producción, la energía solar puede ser un gran aliado para obtener un buen porcentaje de ahorro en la factura eléctrica o en la compra de combustibles, se pretende dar un uso más a los módulos solares.

El bombeo solar consiste en sustituir o combinar las fuentes de suministro de energía habituales por energía solar fotovoltaica. Esto es especialmente importante para poder implantar sistemas de bombeo en zonas remotas, en las que no sería rentable hacerlo a través de la red eléctrica. O también para aquellos proyectos de bombeo donde se quiera disminuir el consumo de la tarifa eléctrica.

Marco teórico

Energías renovables

No hay mucha información específica sobre la invención de las energías, pero hay que tener en cuenta que entendemos como energías renovables a toda aquella energía que es obtenida de una fuente natural e inagotable. Estas fuentes se consideran inagotables por la gran cantidad de energía que poseen y porque se generan; ejemplo de ello es el sol. Son también denominadas energías alternativas, ya que su llegada coincide con la sustitución de fuentes de energía, especialmente los combustibles fósiles.

Tipos de energía renovables

- **Energía eólica:** la energía que se obtiene del viento
- **Energía solar:** se obtiene del sol. Se aprovecha la luz del sol.
- **Energía hidroeléctrica:** la energía que se obtiene de los ríos y corrientes de agua dulce
- **Biomasa y biogás:** la energía que se extrae de materia orgánica
- **Energía geotérmica:** la energía calorífica contenida en el interior de la Tierra
- **Energía mareomotriz:** la energía que se obtiene de las mareas o de las olas
- **Bioetanol:** combustible orgánico, que se logra mediante procesos de fermentación de productos vegetales
- **Biodiésel:** combustible orgánico, que se obtiene a partir de aceites vegetales

Radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La

energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar. Como se muestra en la imagen 1

El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta. Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe. La cantidad de radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera. (IDEAM, 2021)



imagen 1 Llegada de la luz solar a la tierra

DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR

La energía solar llega en forma de radiación electromagnética o luz. La radiación electromagnética, son ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica. Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse, por lo que estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e

interestelar y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (ν) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión $\lambda \nu = C$ (donde C es la velocidad de la luz), son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de 299.792 km/s. (IDEAM, 2021)

La longitud de onda de la luz es tan corta que suele expresarse en nanómetros (nm), que equivalen a una milmillonésima de metro, o una millonésima de milímetro o en micrómetros (μm) que equivalen a una millonésima de metro. Como se muestra en la imagen 2.

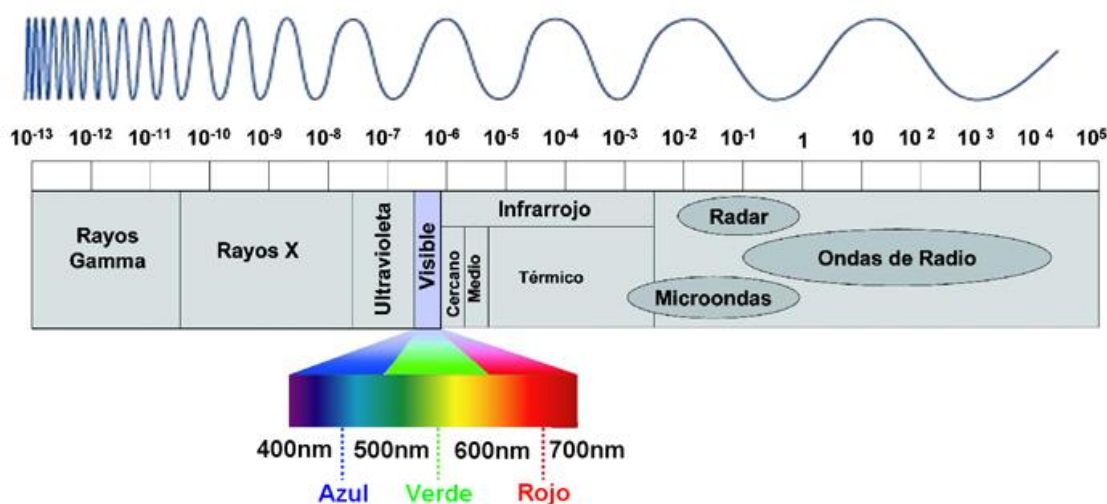


imagen 2 espectro electromagnético

Fotones

De acuerdo con Fernando, (2020). Fotón es una partícula elemental que compone la luz y el quantum de energía en forma de radiación electromagnética, emitido o absorbido por la materia. También se define como una partícula indivisible que se

mueve a la velocidad de la luz. La luz viene en paquetes a los que se les llama fotones. Sin embargo, no se puede detectar su estructura a simple vista. Se mueven a la velocidad de la luz en el espacio vacío. La energía del fotón y su movimiento lineal dependen de su frecuencia, la cual es equivalente a su longitud de onda. Algunos de estos fotones no fueron absorbidos por la atmósfera.

La invención de la celda de energía solar

En 1839, el físico francés Edmond Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico al estar experimentando con una celda hecha de electrodos metálicos en una solución conductora. Observó que la celda producía más electricidad cuando quedaba expuesta a la luz.

Posteriormente, en 1873, Willoughby Smith descubrió que el selenio podría funcionar como fotoconductor, tan sólo tres años después, en 1876, William Grills Adams y Richard Evans Day aplicaron al selenio el principio fotovoltaico descubierto por Becquerel. Ellos registraron que, de hecho, el selenio podía generar electricidad al quedar expuesto a la luz. Casi 50 años después del descubrimiento del efecto fotovoltaico, en 1883, el inventor americano Charles Fritz creó la primera celda solar de selenio funcional. Si bien usamos silicio en las celdas de paneles solares modernos, esta celda solar fue una precursora principal de la tecnología usada hoy día. (SOLAR V., 2020).

paneles solares

Cuando la celda solar se expone al sol, los fotones consiguen mover los electrones de la parte donde sobra carga negativa hacia la parte en la que falta. Como se muestra en la imagen 3

A medida que los fotones van liberando electrones se va generando más y más electricidad. Los electrones que no se utilizan o que provienen del viento regresan al panel negativo haciendo que todo empiece de nuevo en un proceso sin fin, a través de los inversores se convierte en voltaje ac. (Endesa, 2020).

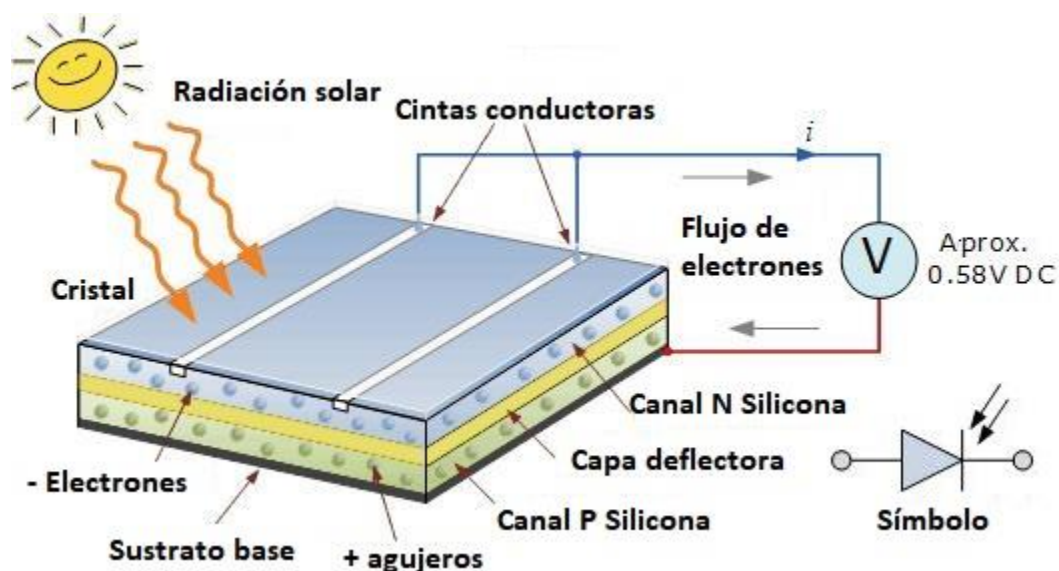


imagen 3 composición de celda solar

Estructuras de aluminio

Las estructuras son muy importantes dado que se encargan de soportar el peso de las celdas solares, como se muestra en la imagen 4 y 5. El aluminio se trata de un metal no ferromagnético, es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Los compuestos de aluminio forman el 8 % de la corteza de la tierra y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas. Este metal posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería de materiales, tales

como su baja densidad ($2698,4 \text{ kg/m}^3$) y su alta resistencia a la corrosión. Mediante aleaciones adecuadas se puede aumentar su resistencia mecánica (hasta los 690 MPa). Es buen conductor de la electricidad y del calor, se mecaniza con facilidad y es muy barato.



imagen 4 base de aluminio con carga



imagen 5 base de aluminio sola imagen

Cultivo (caña de azúcar)

La caña de azúcar es una gramínea originaria de Nueva Guinea, se cultivó por primera vez en el Sureste Asiático y la India occidental. Alrededor de 327 A.C. era un cultivo importante en el subcontinente indio. Fue introducido en Egipto alrededor del 647 D.C. y alrededor de un siglo más tarde, a España (755 D.C.). Desde entonces, el cultivo de la caña de azúcar se extendió a casi todas las regiones tropicales y subtropicales. En los viajes de Cristóbal Colón a América la trasladaron a las islas del Caribe y de ahí pasó a la parte continental americana, particularmente a la zona tropical. A México llegó en la época de la conquista (1522 aprox.), fue así como la primera plantación se llevó a cabo en el estado de Veracruz, instalándose posteriormente los primeros ingenios azucareros en las partes cálidas del país como parte de la colonización. (OFFICINARUM.L., 2015).

Riego de cultivos (caña de azúcar)

La precipitación anual adecuada para este cultivo es de 50 a 100m³ para producir una tonelada de caña, durante el período de crecimiento. La caña necesita la mayor disponibilidad de agua en la etapa de crecimiento y desarrollo, durante el período de maduración esta cantidad debe reducirse, para restringir el crecimiento y lograr el acumulo de sacarosa. (OFFICINARUM.L., 2015).

Pozo de agua

Es la captación de agua sobre un agujero hecho en forma vertical alcanzando el agua subterránea de una capa freática, son construidos de la forma cilíndrica pueden transportar líquidos con el petróleo o agua dulce. Algunos ejemplos de excavaciones de pozos son:

- Pozo excavado: son pozos de poca profundidad que se construye por medio de utensilios como picos, palas, etc. Se utilizan cuando el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie.
- Pozo taladrado: son pozos que se excavan por medio de taladros rotatorios impulsados por fuerza motriz.
- Pozo a chorro: son pozos que se excavan por medio de un chorro de agua a alta velocidad. El chorro consigue aflojar el material excavado y se rebalsa fuera de la zona de excavación.
- Pozo clavado: son pozos excavados clavando una rejilla con punta que, simultáneamente, se agregan tubos o secciones de tubos enroscados.
- Pozo perforado: son pozos que se excavan por medio de un sistema de percusión o rotación. El material cortado se extrae de la zona de excavación mediante presión hidráulica, con alguna herramienta hueca de perforar.

Extracción de líquido de un pozo

Por lo general la extracción de líquidos de un pozo es por medio de la fuerza humana o mecanizada “bomba” como se muestra en la imagen 6.

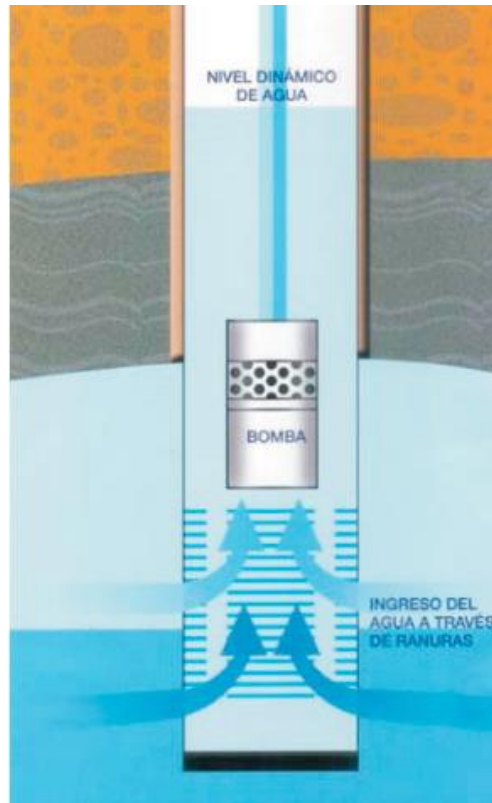


imagen 6 extracción de agua

¿Qué es una bomba?

Es una máquina que transforma energía eléctrica a mecánica, aplicándola para mover el agua. Las bombas pueden ser de dos tipos volumétricos y turbobombas. Todas constan de un orificio de entrada de aspiración y otro de salida de impulsión.

Una bomba sumergible funciona completamente inmersa en el agua a bombear. Por su sistema que tiene, ver imagen 7. Normalmente, las bombas sumergibles se usan para bombear agua subterránea, bombear aguas residuales o para drenar agua, por ejemplo, de sótanos, zonas subterráneas, embarcaciones o ríos inundados.

Hay distintas bombas sumergibles que se diferencian según el tipo de agua a drenar. No todas las bombas son aptas para todos los tipos de aguas. Debes tener en cuenta el tipo de agua para evitar dañar la bomba. (Eddy Pump, 2022)

- Agua limpia. Contiene impurezas de un tamaño menor de 5 mm.
- Aguas residuales. Contienen sólidos en suspensión de hasta 25 mm de tamaño (arena o tierra).
- Aguas residuales con sólidos en suspensión. Contienen sólidos en suspensión mayores de 25 mm. En estas bombas el impulsor, situado en la
- parte inferior de la bomba, descompone los sólidos para poder drenarlos con facilidad.

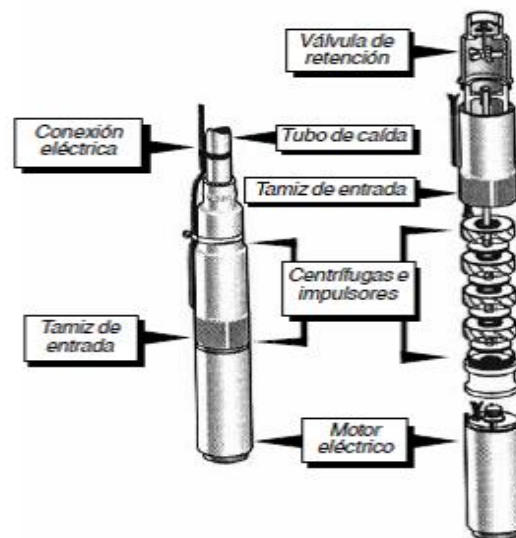


imagen 7 bomba sumergible

Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia es un sistema para el control de la velocidad de giro en motores de corriente alterna (AC) mediante el control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. A los variadores de frecuencia también se les denomina drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, micro drivers o inversores. Debido a que el voltaje varía a la vez que la frecuencia, también se les llama variador de voltaje variador de frecuencia (VVVF).

¿Cómo funciona un variador?

Los variadores se encuentran entre la alimentación y el motor. La energía de la red llega al variador, este regula la energía y la envía al motor como se muestra en la imagen 8. Esto permite enviar tan solo la energía necesaria para que el motor funcione como debe, sin desperdiciar nada.

Dentro del variador, la energía pasa a través de un rectificador que transforma la corriente alterna en corriente continua, esta carga los condensadores del convertidor, lo que suaviza la onda de la corriente eléctrica. Así obtenemos una fuente de alimentación limpia.

A continuación, la energía pasa de los condensadores, a un inversor, que transforma la corriente continua en corriente alterna de salida, que es la que se

transmite al motor. Este paso permite que el convertidor ajuste la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del proceso.

Esto significa que los motores de corriente alterna funcionaran a la velocidad adecuada de acuerdo con la demanda.

Así, los variadores suponen un gran ahorro económico, ya que además de ahorrar energía, los variadores ayudan a reducir los costes de mantenimiento y las

emisiones de ruido. También pueden ayudar a cumplir los objetivos medioambientales de muchas empresas. (lorenzo, 2021)

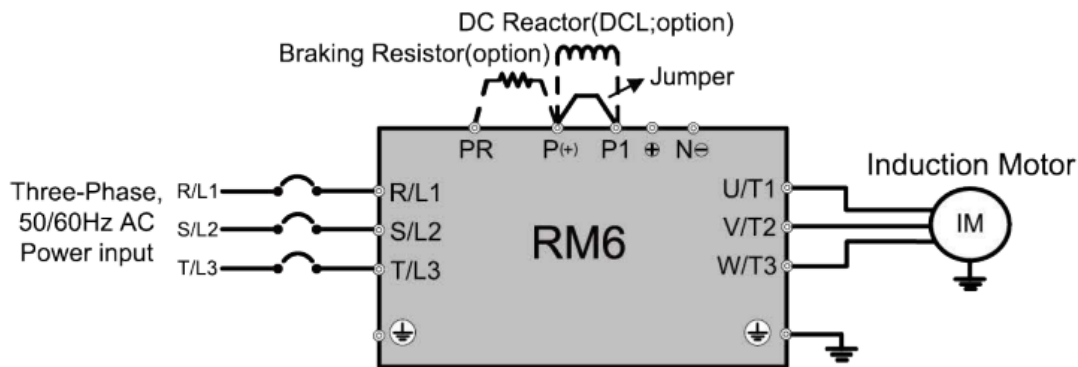


imagen 8 conexión de variador

1.2 Planteamiento del problema

En México, actualmente hay un gran número de comunidades agropecuarias que no cuentan con servicio de energía eléctrica y se debe a que estas comunidades se encuentran en zonas alejadas y están ubicadas en zonas de difícil acceso, a líneas de electricidad por parte de CFE. Lo que lleva al uso de plantas generadoras a gasolina para extracción de agua y riego. El motivo de este trabajo es enfocarse en la elaboración de un sistema de bombeo solar para el riego de cultivo o uso general y disminuir el consumo de combustibles fósiles generando un ahorro, ayudando al sector agropecuario mexicano.

1.3 Objetivos

Diseñar e implementar un sistema de bombeo solar fotovoltaico mediante el acoplamiento de una bomba de pozo profundo a celdas fotovoltaicas con controlador de potencia para garantizar un proceso sustentable.

1.4 Objetivos específicos

- Obtener resultados favorables en el bombeo de agua requerimiento diario 280 litros para una tonelada de caña.
- Obtener la radiación constante o variable para la producción de energía eléctrica.
- Obtener un sistema de riego automático
- Ahorrar en el uso de la planta generadora

1.5 Hipótesis

El establecimiento de un sistema de bombeo mediante una bomba de pozo profundo alimentada con energía solar fotovoltaica permitirá la implementación de un sistema automático para el riego o distribución de agua de forma estable.

1.6 Justificación de proyecto

En el sector agropecuario la importancia del riego es muy importante, ya que gracias al riego los cultivos pueden crecer sin ningún problema. La forma de riego que hay por el momento es con base a una planta generadora a gasolina por lo cual su uso es muy limitado por el combustible y el mantenimiento de la misma planta, haciendo que el riego sea muy tardado y caro. Sin embargo, con uso de las energías

renovables en muy buena opción aprovechando la energía solar, implementando celdas solares para el riego del cultivo, haciendo que se ahorren en el mantenimiento y compra de combustible, también se puede mejorar la producción de diversas cosechas, generando más opciones de riego a plantaciones de diversos cultivos.

1.7 Alcances y limitaciones

Elaboración de cálculos, así como funcionamiento y elaboración de dicho sistema. Generar un ahorro por parte del sistema solar.

La principal limitación que presente en este proyecto es que la radiación solar no sea suficiente para generar electricidad constante.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El bombeo del agua se podrá hacer exclusivamente durante las horas de sol, y siempre a partir de un mínimo de energía para comenzar a funcionar. Como se muestra en la imagen 9

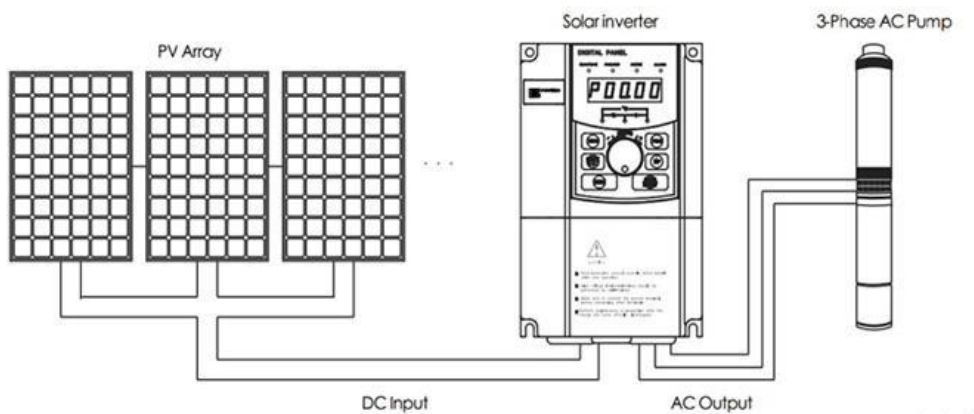


imagen 9 diagrama de bombeo solar

Se tiene que saber cuántas horas de sol tenemos en el mes de marzo en la localidad de matatenatito, la irradiancia diaria se obtuvo por la aplicación de PVGIS.

Perfil irradiancia diaria, plano inclinado

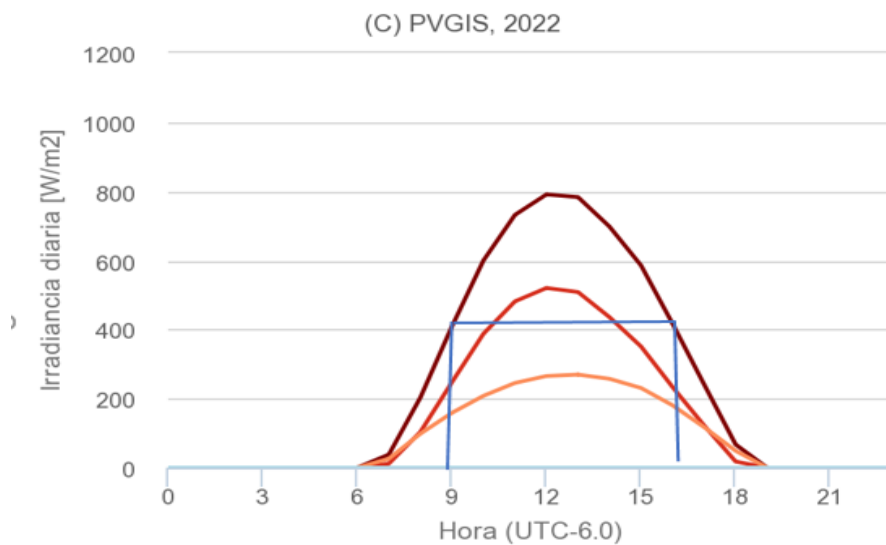


imagen 10 radiación solar mes de marzo

En la imagen 10 se muestran las horas de radiación que hay las cuales pertenecen solo al mes de marzo.

La línea rojo vino indica la potencia de los paneles, la línea azul marino indica la potencia de la bomba.

En las primeras horas de sol de (6am a 9am) la bomba se mantiene en la potencia mínima.

A partir de las 9 am a 4:30 am la bomba mantiene su potencia nominal.

A partir de ese punto sería simétrico. Como se muestra, es de suma importancia tener las horas solares durante el diseño, en la tabla 1 se muestran las horas solares que hay durante el año.

Hay que tener en cuenta pequeñas caídas de potencia por el paso de nubes, se reduce el funcionamiento y baja la potencia de la bomba sin llegarse a parar, pero si las nubes apenas dejan pasar apenas luz solar la potencia podrá caer por debajo podrá sufrir una parada.

Tabla 1 horas solares

MES	HSP
Enero	4.7
Febrero	5.2
Marzo	6.4
Abril	6
Mayo	5.6
Junio	5.1
Julio	5.4
Agosto	5
Septiembre	4.9
Octubre	6.1
Noviembre	5
Diciembre	5.1

Cálculo de consumo de agua para riego

Hay que tener en cuenta que para la producción de caña de azúcar se debe tener varios factores, pero el más indispensable es el agua, para hacer crecer una

cosecha. Por los siguientes datos recolectados en una hectárea de terreno se produce 76 toneladas de caña cada 9 meses.

$$9 \text{ meses} \times 30 \text{ días} = 270 \text{ días}$$

$$50,000l \div 270 \text{ días} = 259.25 \text{ litros dia}$$

$$260 \text{ litros} \times 76 \text{ toneladas} = 19,760 \text{ litros hectárea}$$

$$19.76 \text{ m}^3 \text{ de agua diarios/hectárea}$$

$$19.76 \text{ m}^3 \times 6 \text{ hectareas} = 118.56 \text{ m}^3 \text{ diarios}$$

Tipo de bomba

La siguiente bomba proporciona 340 litros minutos y se necesita 193.32 m^3 día por lo que se hacen los siguientes cálculos

Bomba sumergible aqua pak serie máx., 5 lps, acero inoxidable/lexan/noryl, 9 etapas, descarga 2", 5 hp, nema 4"

$$340 \times 60 \text{ minuto} = 20,400 \text{ litros/hora}$$

$$20,400 \div 1000 = 20.4 \text{ m}^3 \text{ hora}$$

$$118.56 \text{ m}^3 \div 20.4 \text{ m}^3 = 5.81 = 6 \text{ horas}$$

Se necesita que la bomba trabaje 6 horas diaria.

Cálculo de paneles

El consumo de la bomba es de 3.7 kW/día trifásico 220v a 60hz

Los paneles que se desean colocar son de 400 w/día a 10 A

Hay que sobredimensionar un 40% más por las pérdidas del clima

$$3.7 \times 1,000 = 3,700 \text{ W/día}$$

$$3,700 \text{ w/d} \div 400 \text{ w/d} = 9.25 \times 1.4 = 12.95 = 13 \text{ paneles}$$

Como los paneles se tienen que colocar simétricos, para que no tengamos ningún problema a la hora de generar energía, el arreglo sería el siguiente.

2 filas de 7 paneles de 400 w en total serían 14 paneles.

Variador de frecuencia

Con los cálculos obtenidos anteriormente se puede saber qué tipo de variador se tiene que utilizar. Hay que tomar en cuenta el máximo operación de motor, máximo operación en amperaje. En la siguiente tabla se puede saber el variador a utilizar.

Tabla 2 rangos máximos operativos de variador

Model name (RM6-0000-B3/E3)	20P5	2001	2002	2003	2005	2007	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2060	2075	2100	2125	2150	2200	2250	
Maximum Applicable Motor (HP/kW)	0.5/0.4	1/0.75	2/1.5	3/2.2	5/3.7	7.5/5.5	10/7.5	15/11	20/15	25/18.5	30/22	40/30	50/37	60/45	75/55	100/75	125/90	150/110	200/160	250/200	
Rated Output Capacity(kVA)	1.1	1.9	3	4.2	6.5	9.5	13	18	24	29	34	44	57	70	84	112	132	165	223	267	
Rated output current(A)	3	5	8	11	17	25	33	47	63	75	90	115	150	185	220	295	346	432	585	700	
Rated Output Voltage(V)	Three-phase 200~240V																				
Range of Output Frequency(Hz)	0.1~400.00Hz																				
Power Source (φ, V, Hz)	Three-phase 200~240V 50/60Hz																				
Input Current (A)	5	6	10	14	18	30	40	61	72	86	103	132	183	211	240	280	330	405	550	660	
Permissible AC Power Source Fluctuation	176~264V 50/60Hz±5%																				
Overload Protection	150% of drive rated output current for 1 min																				
	120% of drive rated output current for 1 min																				
Cooling Capacity (CFM)	Natural cooling	8.1	16.2	16.2	62.8	59.8	59.8	150	150	216	216	212	394	394	394	591	591	788	788		
Applicable Safety Standards	UL 508C; EN 61800-3																				
Protective Structure	IP20						IP20						IP00 (IP20 OPTION)								
Weight (kg)	1.8	1.8	1.9	2	2.1	3.0	5.4	5.7	12.4	13.1	14.7	14.8	42.7	44.3	46.3	63.6	89	90	164	167	
Case Code	Case 1				Case 2		Case 3		Case 4				Case 5			Case 6		Case 7		Case 8	

El variador escogido fue RM6F5-2005B3 este variador cumple con nuestra necesidad de funcionamiento para la bomba

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL PROYECTO

Para llevar a cabo el proceso de instalación del bombeo solar se ocuparon los siguientes materiales

Materiales

- 14 módulos fotovoltaicos SE 158158-400M-72.
- 1 gabinete de acero Ip66 25x30x15.
- 10 estructura para paneles solares de aluminio.
- 1 variador de frecuencia RM6F5 3PH 200V 5HP.
- 1 PTR cuadrado 1 ¼.
- 50 metros de cable solar #10.
- 20 conectores MC4 machos y hembras.
- 32 soporte de montaje fotovoltaico.
- 40 taquetes expansivos de ½.
- 8 metros ducto licuaflex de 1.
- 30 tornillos de 3/16, 1/4 con tuercas y arandelas de presión.
- Cemento, grava, arena y varilla electrosoldada.

Herramientas

- Pinza eléctrica, de punta, de corte.
- Destornilladores.
- Llaves Allen.
- Llave española de diferentes medidas.
- Llave de torquímetro.
- Dados para torquímetro de 13,10 ,15 mm.
- Pinza crimpadora de terminales MC4.
- Taladro.
- Cortadora angular.
- Amperímetro.
- Flexómetro.
- Cava hoyos, pala.

- Entre otros.

Reconocimiento del terreno

Se tuvo que hacer el reconocimiento el terreno (tipo de suelo, longitud y latitud) todo eso datos son importantes dado que con la latitud y longitud se calcula las horas pico de radiación solar en m^2 y con el tipo de suelo se puede determinar el material adecuado para evitar la corrosión del material o la degradación.

Se vio detalladamente donde se tendría que instalar el sistema de bombeo para no molestar visualmente y no tener sombras que afecten la eficiencia del sistema.

Preparación de bases de carga

Debido al tipo de terreno se fabricaron unas bases de concreto para soportar el peso del sistema y nivelar dicho sistema se optó por pilares de concreto como se muestra en las siguientes imágenes su resistencia para los lugares húmedos, así como secos también por la gran capacidad de soportar un gran peso combinado con el acero. Las bases tienen que estar dirigidas al lado sur, con la ayuda de la herramienta cava hoyos se hizo una excavación de 80 cm de profundidad x 25 cm de diámetro se tuvieron que hacer 16 excavaciones como se muestra en la imagen 11, después se preparó el cemento con grava, arena y agua haciendo una mezcla homogénea, también se preparó la varilla electrosoldada se recortaron en trozos de 70 cm y se introdujeron en los hoyos que se habían hecho, la distancia que hay entre hoyo y hoyo es de 1.40m x 1.80m formando un rectángulo, después se vertió la mezcla en los dichos hoyos y se dejó que fraguara unos 20 minutos para colocar las varillas roscadas de 1/2 dando la distancia de 8 cm de varilla a varilla en un solo hoyo. Se hizo el mismo procedimiento en las 15 faltantes, se dejó fraguar durante 48 horas. Como se muestra en la imagen 12



imagen 11 excavación



imagen 12 base de concreto

Instalación de estructura para el sistema solar

La estructura que se utilizó fue de aluminio dado que puede ser moldeable, su liviano peso para transportar resistencia al fuego y conductividad térmica son unas de las ventajas que puede ofrecer este tipo de material. Una vez pasado las 48 horas las bases estaban listas para pasar a la siguiente etapa la cual era la colocación de la estructura, se empezó a instalar las patas de la estructura sobre las bases de concreto atornillado con la varilla roscable que se dejó se instalaron las 15 de la misma manera ver imagen 13, después se colocaron los soportes laterales y los largueros esas piezas se tiene que apretar a 20NM y a un Ángulo de 22° en la posición del sur. Como se muestran la imagen 14



imagen 13 patas de estructura



imagen 14 armado de estructura

Instalación de los paneles solares

Los paneles que se instalaron son de la marca solarever, se instalaron sobre las estructuras que se colocaron primero se tuvieron a prueba midiendo el voltaje que otorgaban. Después que se probaron todos los paneles se empezaron a colocar sobre la estructura y empezar a atornillar con los soportes de montaje y alinear cada uno de los paneles, así se colocaron los 14 paneles. Como se muestra en las imágenes 15 y 16.

El arreglo en de los paneles solares fueron de 2 cadenas de 7 paneles, se tuvo que hacer ese tipo de conexiones dado al consumo de la bomba.



imagen 15 montaje de paneles



imagen 16 alineación de paneles

Instalación del cableado

Se colocaron los cables con poliducto licuaflex de 1 pulgada, los cables que se ocupa son de cobre con un foro resistente a los rayos uv y a 600 c° el calibre que se ocupó fue del #10 soportando la carga a consumir por el sistema

Se colocó la varilla puesta a tierra física conectándolo al sistema estructural de los paneles para evitar cualquier descarga atmosférica sobre los paneles.

Instalación de gabinete

El gabinete que se instaló es de acero galvanizado sostenido con PTR cuadrado de 1 ¼, se tuvo que hacer un hoyo de 1 metro de profundidad por 30 cm de

circunferencia, se tuvo que cortar 1.80m de ptr para que sobresalga 80cm y se pueda sostener el gabinete. Como se muestra en la imagen 17.



imagen 17 gabinete instalado

Instalación de variador de frecuencia

El variador que se instaló fue RM6 3PH 200V 5HP, es para un arranque suave de la bomba de agua y la proteja en caso de no haber mucha radiación solar para sobre esforzar la bomba, se programa para que trabaje en un horario de 6 horas consecutivas a una velocidad constante, indicando el consumo de la bomba, también indica el voltaje está suministrando los paneles solares, ver imagen 18.



imagen 18 instalación de variador solar

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Resultados

Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios dado que el sistema de bombeo funciona sin ningún problema la radiación obtenida es muy buena, con un funcionamiento de mínimo 6 horas y un máximo de 7 horas satisfaciendo las necesidades establecidas con un flujo constante de riego de agua. Como se muestran en las imágenes 19 y 20.

Que volumen de agua lograste bombear y esa cantidad que área de cultivo cubre



imagen 19 bomba con potencia mínima



imagen 20 bomba con potencia máxima

Inversión del sistema

La siguiente tabla muestra la inversión de materiales.

Tabla 3 inversión de materiales

DESCRIPCION	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
modulo solar 400w	14	\$ 2986.30	\$ 41,808.2
estructura	10	\$ 563.56	\$ 5,635.6
soporte de montaje	32	\$ 84.67	\$ 2,708.48
variador solar	1	\$ 6580.30	\$ 6,580.30
cable solar	50m	\$ 28.60	\$ 1,430
conectores MC4	20	\$ 5.80	\$ 116
gabinete de acero	1	\$868.30	\$868.30
tornillería entre otros	1	\$3500	\$3,500
		total	\$62,645.88

A continuación, se suma la inversión en material más la inversión en instalación como se muestra en la siguiente tabla. La inversión instalada va variando la zona, altura, complejidad.

Tabla 4 inversión total

DESCRIPCIÓN	PRECIO
inversión de material	\$ 62,645.88
inversión en instalación	\$ 37,587.52
total	100,233.40

Inversión en planta generadora a gasolina

Tabla 5 inversión de gasolina

consumo de gasolina	horas de trabajo	precio de gasolina por litro
1.3 litros	1	24.60
7.8	6	191.88

La planta consume 7.8 litros de gasolina por día como se muestra en la tabla

$$7.8l \times 30 \text{ dia} = 234 \text{ litros mes}$$

$$234 \times 24.60 = \$5,756.4 \text{ mes}$$

Retorno de inversión

La gasolina tiene variaciones de precios dependiendo la zona en la zona de matatenatito es de \$24.60

$$\frac{100,233.40}{5,756.4} = 17.4 \text{ meses} = 1 \text{ año y } 6 \text{ meses}$$

En un año y seis meses se recupera la inversión de los paneles.

4.2 Conclusiones

El acoplamiento de celdas fotovoltaicas a una bomba de pozo profundo controlado por un variador de potencia logro cumplir el objetivo y demuestra que la hipótesis es verdadera ya que dicho sistema logra producir ---- litros de agua la cual es suficiente para el riego de un área de cultivo de 4 hectáreas de caña de forma ininterrumpida entre 6 y 7 horas logrando así tener un sistema de bombeo eficiente y sustentable.

4.3 Trabajos futuros

Se prevé que a largo plazo cambiar de posición y elevar los paneles para mayor seguridad y funcionamiento y ampliación del sistema para instalar más celdas solares para un sistema de bombeo más grande y abarcar más extensiones de terreno para la cultivación de más caña de azúcar

ANEXOS

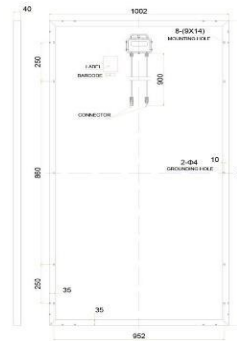
Tabla 6 toneladas de cañas por hectárea

Entidad	Num de Ingenios	Superficie cosechada (has)	Toneladas de caña por hectárea	Caña Molida (tons)	Azúcar (tons)	Azúcar por hectárea (tons)
Morelos	2	16674	104.16	1736760	238197	14.29
Puebla	2	15987	110.83	1771857	223569	13.98
Michoacán	3	15155	91.41	1385367	162034	10.69
Jalisco	6	75494	98.79	7458327	876088	11.6
Chiapas	2	30989	87.61	2715033	319759	10.32
Colima	1	18768	75.17	1410825	161227	8.59
Tamaulipas	2	30437	61.5	1871886	172115	5.65
Veracruz	18	325724	62.76	20442128	2220429	6.82
San Luis Potosí	4	88063	58.46	5147725	560375	6.36
Nayarit	2	27113	97.44	2641989	312850	11.54
Oaxaca	3	53025	52.67	2792621	308706	5.82
Sinaloa	3	3472	86.00	298583	28320	8.16
Campeche	1	14655	51.88	760244	86682	5.91
Tabasco	3	38603	44.34	1711466	168387	4.36
Quintana Roo	1	29358	49.56	1455014	146224	4.98
Total	51	783515	68.41	53599827	5984961	7.64

SE-158*158-XXXM-72

Características mecánicas

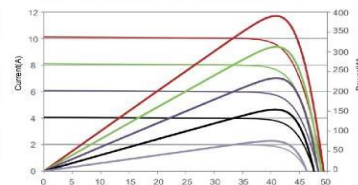
Tipo de celda	Monocristalino(PERC) 158.75x158.75mm
Número y arreglo de celdas	6x12(72pzs)
Dimensiones	1979x1002x40mm
Peso	22.5Kg
Cristal frontal	3.2mm cristal templado
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Encapsulamiento	Cristal/EVA/Celda/ EVA/TPT
Humedad Relativa	0 to 100%
Resistencia	Una bola de acero 227g cayendo desde 1m de altura y 60m/s de viento
Parámetros de carga de nieve	5400Pa



Coefficientes de Temperatura

Temperatura nominal de operación en la celda	45 C \pm 2 C
Temperatura de potencia máxima	$-(0.370 \pm 0.05)\%/K$
Temperatura de Voltaje en Circuito abierto	$-(0.280 \pm 0.02)\%/K$
Temperatura de Corriente de corto circuito	$+(0.048 \pm 0.005)\%/K$
Máxima corriente de fusibles	20A

Curva de características I-V



Características Eléctricas

Características(XXX)	380	385	390	395	400
Voltaje de circuito abierto	48.9	49.1	49.3	49.5	49.8
Corriente de corto circuito	9.75	9.92	10.12	10.23	10.36
Voltaje de circuito óptimo	40.5	40.8	41.1	41.4	41.7
Corriente de circuito óptimo	9.39	9.44	9.49	9.55	9.60
Poder máximo de operación en STC	380W	385W	390W	395W	400W
Eficiencia del módulo	19.16%	19.42%	19.67%	19.91%	20.16%
Temperatura de operación	-40 C to +85 C				
Máximo voltaje del sistema	1000V DC				
Tolerancia de Potencia de salida	0~+5W				
STC: Irradiación 1000W/m ² , temperatura del módulo 25°C, AM (masa de aire)=1.5					

* Tolerancia a la prueba de potencia: $\pm 3\%$

www.SOLAREVER.com.mx

imagen 21 hoja de datos celdas solares

Marca AQUA PAK
 Serie M5X
 Sectores de uso Hogar, Comercio, Agricultura, Industria
 Servicio continuo/intermitente Servicio continuo
 Garantía 2 años
 Tipo de bomba Bomba sumergible para pozo profundo
 Diámetro nominal 4"
 Acoplamiento NEMA / IEC NEMA 4"
 Ademe mínimo 4"
 Número de etapas 9
 HP nominal 5 hp
 Flujo nominal 5 lps
 Rango de flujo 1.6 - 5.6 lps / 100 - 340 lpm
 Rango de carga (metros) 23 - 67 m
 Flujo a máxima eficiencia 5.6 lps / 89 gpm
 Carga a máxima eficiencia (metros) 43 m
 Máximo contenido de arena 50 g/m³
 Temperatura máxima del agua (°C) 30
 Descarga 2"
 Tipo de conexión Rosca
 Tipo de rosca NPT
 Rosca macho/hembra Hembra
 Material del cuerpo de bomba Acero inoxidable 304
 Material del tazón Acero inoxidable 304
 Material del difusor Lexan
 Material del impulsor Noryl®
 Material del eje Acero inoxidable 304

imagen 22 consumo de bomba

Serie Serie 4"
 Sectores de uso Hogar, Comercio, Agricultura, Industria
 Incluye 2.5 metros de cable conector
 Servicio continuo/intermitente Servicio continuo
 Garantía 2 años
 Tipo de motor Motor sumergible de 4" a baño de aceite
 Acoplamiento NEMA / IEC NEMA 4"
 Diámetro nominal 4"
 Ademe mínimo 4"
 HP nominal 5 hp
 Kilowatts 3.7 kw
 Fases de alimentación 3
 Voltaje de alimentación 230 Volts
 Tolerancia de voltaje +/- 10%
 Frecuencia de alimentación (hertz) 60
 Amperaje (A) 17.5
 Factor de servicio 1.15
 Amperaje a factor de servicio (A) 18.7 A
 Número de polos 2 polos (3,450 RPM)
 Máximo empuje axial (kg / lb) 510 kg / 1,125 lb
 Tipo de refrigerante Aceite de calidad PREMIUM
 Clase de aislamiento F
 Protección IP IP68
 Baleros / bujes Baleros
 Sello mecánico / retén Sello mecánico
 Material del sello mecánico Carbón / cerámica
 Material de la carcasa del motor Acero inoxidable AISI 304

imagen 23 datos de bomba



imagen 24 variador solar características

BIBLIOGRAFÍA

Referencias

Acciona. (s.f.). Recuperado el 20 de febrero de 2022, de Acciona:

https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?_adin=02021864894

Alusinsolar. (06 de enero de 2017). Obtenido de Alusinsolar: <https://alusinsolar.com/aluminio-acero-estructuras-solares/#estructuras-de-aluminio>

anixter. (s.f.). Recuperado el 17 de marzo de 2022, de anixter:

https://www.anixter.com/es_mx/resources/literature/wire-wisdom/pv-wire.html

CFE. (04 de diciembre de 2019). *CFE*. Obtenido de CFE: <https://www.cfe.mx/finanzas/reportes-financieros/Informe%20Anual%20Documentos/Informe%20Anual%202019%20V12%20a%20portal.pdf>

- CFE. (30 de ABRIL de 2021). *informe anual*. Obtenido de informe anual:
<https://www.cfe.mx/finanzas/reportes-financieros/Informe%20Anual%20Documentos/CFE%20Informe%20Anual%202020.pdf>
- Eddypump. (01 de enero de 2022). *Eddypump*. Obtenido de Eddypump:
<https://eddyump.com/es/education/what-to-know-about-submersible-pumps/>
- Endesa. (11 de diciembre de 2020). *Endesa*. Obtenido de Endesa:
<https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/como-funcionan-los-paneles-solares>
- fernando. (29 de enero de 2020). *Espaciociencia*. Obtenido de Espaciociencia:
<https://espaciociencia.com/que-es-un-foton/#>
- IDEAM. (03 de NOVIEMBRE de 2021). *GOV.CO*. Obtenido de GOV.CO:
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20solar%20llega%20en%20forma%20radiaci%C3%B3n%20electromagn%C3%A9tica%20o%20luz.&text=Las%20ondas%20electromagn%C3%A9ticas%20no%20necesitan,el%20Sol%20y>
- López, m. v. (1984). *pozos y acuíferos*. Madrid: rios rosas.
- lorenzo. (18 de octubre de 2021). *electronicboard*. Obtenido de electronicboard:
<https://www.electronicboard.es/que-es-un-variador-de-frecuencia/>
- OFFICINARUM.L., S. (25 de ENERO de 2015). *SAGARPA*. Obtenido de SAGARPA:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/141823/Ficha_Tecnica_Ca_a_de_Az_c ar.pdf
- país, E. (06 de diciembre de 2021). *El país*. Obtenido de El país: <https://elpais.com/ciencia/vacio-cosmico/2021-12-06/fotones-alocados-frente-a-fotones-reflexivos.html>
- plak, s. (22 de marzo de 2019). *solar plak*. Obtenido de solar plak:
<https://solarplak.es/energia/que-es-un-sistema-de-bombeo-de-agua-solar/>
- santiago. (28 de 08 de 2021). *CEUPE*. Obtenido de CEUPE: <https://www.ceupe.mx/blog/que-son-las-energias-renovables.html>
- SOLAR, S. (01 de JULIO de 2020). *SVEA SOLAR*. Obtenido de SVEA SOLAR:
<https://sveasolar.com/es/blog/que-es-un-foton/>
- SOLAR, V. (17 de ENERO de 2020). *VIVINT SOLAR*. Obtenido de VIVINT SOLAR:
<https://www.vivintsolar.com/es/centro-de-aprendizaje/historia-de-la-energia-solar>

- Universidad cooperativa de colombia.* (02 de agosto de 2017). Obtenido de Universidad cooperativa de colombia:
https://revistas.ucc.edu.co/html_revistas/IngSol/13%2823%29/13%2823%2911/13%2823%2911.html
- Valdivielso, A. (27 de 05 de 2019). *iagua*. Obtenido de iagua:
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-pozo-agua>
- Zuendo.* (13 de julio de 2017). Obtenido de Zuendo:
https://www.zuendo.com/smartblog/21_usos-del-variador-inversor-frecuencia.html