

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FÍSICA



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FÍSICO
IMPLEMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN
CENTRO DE DEMOSTRACIÓN DE ENERGÍAS
RENOVABLES EN YAURISQUE PROVINCIA DE
PARURO CUSCO – PERÚ

Presentado por:

JIMMY PEÑA CASO

Asesor:

Dr. MANFRED HORN

Lima – Perú
2010

RESUMEN

En el "Centro de Capacitación para el Desarrollo", CECADE (ver www.cuscosolar.org) ubicada en Yaurisque a 3330 msnm de latitud sur 13° 39" y long. Oeste 71° 55" prov. Paruro, Cusco se ha elaborado la tesis que consiste en la implementación de un "Centro de demostración de energías renovables". Este centro incluye, como generadores de electricidad, 400 Wp de paneles fotovoltaicos, 2 aerogeneradores de 100 W cada uno y una picoturbina de 400 W. La electricidad generada es almacenada en una "central de carga" conformada por un banco de baterías de 12 V DC, 500 Ah, y como cargas se tiene diversos equipos a 220 VAC (usando un inversor de 1000 W), tal como luminarias y una bomba de agua de 400W. Con ello se quiere hacer conocer a la población rural de la región las posibilidades reales de usar estas tecnologías para satisfacer necesidades energéticas.

Independiente de la central de carga se instaló postes de luz autónomos con paneles fotovoltaicos y aerogeneradores.

El presente trabajo hace una descripción de las características técnicas de los diversos equipos de generación de energía eléctrica y se discute sus ventajas y desventajas.

INDICE

		Pág.
I.	Introducción.....	7
II.	Las energías renovables.....	8
III.	Energía solar.....	8
	3.1 Energía solar fotovoltaica.....	8
	3.2 Sistema fotovoltaico.....	11
	3.2.1 Modulo fotovoltaico.....	11
	3.2.2 Interconexión de módulos fotovoltaicos.....	12
	3.2.3 Batería.....	14
	3.2.4 Interconexión de baterías.....	15
	3.2.5 Regulador o controlador de carga.....	16
	3.2.6 El inversor o convertidor CC/CA.....	16-17
	3.3 Instalaciones Fotovoltaicas en Cecade- Yaurisque	18
	3.3.1 Poste solar autónomo.....	18
	3.3.1.1 Dimensionamiento.....	18
	3.3.1.2 Conexiones eléctricas.....	19
	3.3.1.3 Caracterización del panel fotovoltaico.....	20-22
	3.3.1.4 Cálculos y Resultados.....	22-23
	3.3.2 Generador Fotovoltaico.....	23
	3.3.2.1 Dimensionamiento.....	24
	3.3.2.2 Conexiones eléctricas.....	25
	3.3.2.3 Caracterización.....	25
	3.3.2.4 Cálculos y resultados.....	28-29
	3.3.3 Ventajas y Desventajas.....	30
IV.	Energía Eólica.....	31
	4.1 Aerogeneradores.....	32
	4.2 Generalidades del viento.....	33
	4.2.1 La energía Contendida en el viento. Teoría de Bezt Para los motores eólicos.....	34
	4.3 Instalaciones eólicas en Cecade-Yaurisque.....	38
	4.3.1 Características principales del aerogenerador.....	38
	4.3.2 Izaje de los aerogeneradores.....	38
	4.3.3 Poste eólico autónomo (Aerogenerador).....	39
	4.3.3.1 Conexión eléctricas.....	40
	4.3.4 Aerogenerador.....	41
	4.3.4.1 Conexión eléctrica.....	43
	4.3.5 Caracterización del aerogenerador.....	44
	4.3.5.1 Procedimiento.....	44
	4.3.5.2 Instrumentos de medición.....	44
	4.3.5.3 Datos experimentales.....	45
	4.3.6 Cálculos y resultados.....	45-46
	4.3.7 Ventajas y desventajas.....	47

V.	Energía Hidráulica	48
5.1	Microcentrales hidroeléctricas	49
5.1.1	Central de agua fluyente o de canal de derivación	50
5.1.2	Central de embalse o de regulación	50
5.1.3	Central de canales de abastecimiento	50
5.2	La energía de un salto de agua	51
5.3	Picoturbina	52
5.3.1	Principales componentes	53
5.3.1.1	Rodete	53
5.3.1.2	Eje	53
5.3.1.3	Inyectores	53
5.3.1.4	Sellos sin contacto	53-54
5.3.1.5	Carcasa	54
5.3.1.6	Tubo distribuidor	55
5.3.1.7	Sistema de transmisión	55
5.4	Instalación de la picoturbina	56
5.4.1	Esquema general de recorrido del agua	57
5.4.2	Conexiones eléctricas	58
5.4.3	Picoturbina al término de la instalación	58
5.4.4	Datos experimentales	59
5.4.5	Cálculos y resultados	59
5.4.6	Ventajas y desventajas	60
VI	Conclusiones	61-62
VII	Bibliografía	63
	Anexo 1	64
	Galería de Fotografías – CECADE	65-68

I. INTRODUCCIÓN

El Centro de Capacitación para el Desarrollo “Qosqo Yachay Wasi” (CECADE) es una Asociación Civil sin fines de lucro formado por profesionales e investigadores de la región y del país, con amplia experiencia en el manejo de proyectos sustentables de desarrollo, transferencia de tecnología, conservación del medio ambiente y el empleo de tecnologías que utilizan energías limpias y renovables.

Las actividades del CECADE están orientadas fundamentalmente a promover el desarrollo de la persona humana, en especial de jóvenes, familias de comunidades campesinas, consolidando sus valores éticos y morales, respetando su identidad y cultura, dotándoles de conocimiento científico y tecnológico como una opción para desterrar la pobreza y mejorar el bienestar y calidad de vida.

El CECADE es un centro de promoción y difusión de conocimientos científicos y tecnológicos que impulsa el desarrollo de proyectos productivos, de tecnologías limpias y renovables. Brinda información y asesoramiento. Es una institución de dialogo que promueve la concertación multisectorial. Emprende la discusión y elaboración de proyectos de desarrollo local, regional y del país.

Particular énfasis se ha dado a la presente tesis que consiste en la implementación de un centro demostrativo de las diferentes energías renovables en la institución CECADE, con el fin, que los pobladores de la región puedan apreciar directamente las posibilidades, sus ventajas y limitaciones de las energías renovables, solar, eólica e hidráulica así como sus aplicaciones.

II. LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables. El sol está en el origen de la mayoría de ellas porque su energía provoca en la Tierra las diferencias de presión que generan los vientos, fuente de la energía eólica. El sol ordena el ciclo del agua que da origen a la energía hidráulica. Las plantas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer. Toda esa materia vegetal es la biomasa. Por último, el sol se aprovecha directamente en dos formas térmica y fotovoltaica.

No producen lluvia ácida ni contribuyen al efecto invernadero, no dejan residuos importantes, acercan las fuentes de producción al consumidor, ahorrando miles de kilowatios en transporte, fortalecen la independencia energética y la industria nacional, favorecen la creación de empleo y por si esto fuera poco, nos resulta mas barata.

En el Perú existe un gran potencial para el aprovechamiento de las energías renovables.

III. ENERGÍA SOLAR

Como ya he comentado, todas las energías renovables son consideradas de origen solar. No obstante, este término se suele utilizar para referirse a las técnicas que utilizan de forma directa la radiación solar. A su vez, la energía solar puede dividirse en dos tipos: la solar fotovoltaica que se encarga de transformar directamente la radiación en electricidad gracias al efecto fotovoltaico y la solar térmica que utiliza la capacidad directa de calentamiento del sol.

3.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Mediante este tipo de energía renovable se consigue suministrar energía eléctrica a partir de unas células solares – diseñadas adecuadamente que transforman directamente parte de la energía solar en electricidad.

Las células solares están constituidas por un material semiconductor, en el cual los electrones están lo suficientemente poco ligados como para ser arrancados mediante la energía de los fotones incidentes. De este modo, pueden circular libremente por el semiconductor, recorriendo el cristal como si se tratara de una carga eléctrica libre. Es decir, el esquema es el de unos electrones recorriendo la célula solar y el de unos espacios huecos que son los que quedan cuando el electrón marcha. Una vez se ha logrado esto se debe evitar que los enlaces se recompongan a través de la recombinación. Para evitarlo se crea un campo eléctrico interno que separa ambos tipos de cargas: electrones y huecos. Para conseguir este campo interno se suelen modificar las propiedades electroquímicas del semiconductor, formando lo que se conoce como una unión $p-n$. Este tipo de uniones se caracterizan por tener una región donde los huecos son muy abundantes y los electrones muy escasos, región p , y otra región donde ocurre justamente lo contrario, región n . En la unión de ambas regiones existe un elevado gradiente de ambos tipos de portadores generando que abandonen por difusión la región en que son abundantes, es decir, los electrones hacia la zona p y los huecos hacia la zona n . Esto genera que a ambos lados de la unión $p-n$ se produzca un dipolo eléctrico que da lugar a un campo eléctrico circulante de la zona n a la zona p .

De esta forma se llega a la situación de equilibrio, evitando de este modo la recombinación.

Es decir, una célula solar fotovoltaica está constituida generalmente por un disco monocristalino de silicio, de tal manera que una de las superficies sea de tipo n y el substrato de tipo p . De esta manera la unión $p-n$ es paralela a la superficie iluminada de la célula. Sobre ambas caras de la célula se sitúan dos capas metálicas para que el semiconductor pueda tomar contactos eléctricos. Una de las dos capas metálicas debe tener forma de rejilla para que la luz pueda penetrar en el semiconductor. La luz entra por la cara donde se produjo la difusión. La corriente fotovoltaica generada sale por el contacto p , atraviesa la carga y vuelve a entrar por el contacto n .^[1]

[1]. Energías Renovables, Mario Ortega Rodríguez, 1ra edición 1999 editorial Paraninfo. España., Pág. 109 a 111.

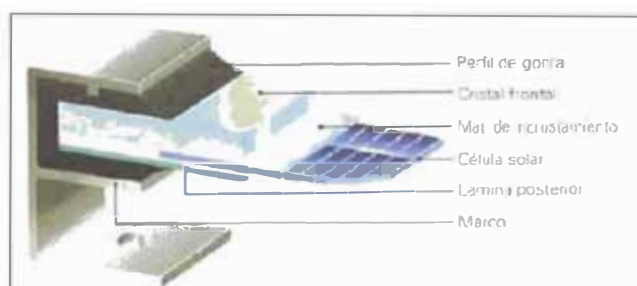


Fig.1 Esquema del Modulo Solar Fotovoltaica. (Fuente, <https://upcommons.upc.edu>)

La corriente generada en la célula es corriente continua (C.C). La tensión de trabajo (voltaje) depende de las características físico-químicas propias del material. A nivel comercial el silicio es el material base de las células. La tensión de trabajo de una célula fotovoltaica de silicio es del orden de 0.5 V. La intensidad de corriente generada es, esencialmente, proporcional a la superficie expuesta al sol y a la intensidad de la radiación incidente sobre ella.

Existen comercializadas en el mercado tres tipos de células de silicio en función de su estructura cristalina:

- a) **Silicio monocristalino**: todos los átomos están perfectamente ordenados. En el proceso de cristalización al ir depositando los átomos sobre el cristal ya formado lo hacen siempre respetando el mismo orden. El color que presenta es muy monocromático: azulado, oscuro y con un cierto brillo metálico. ^[2].



Fig.2. (Panel solar monocristalino, fuente: www.censolar.com)

- b) **Silicio policristalino**: Formado por la agrupación de cristales de silicio donde las direcciones de alineamiento de los átomos cambian cada cierto tiempo durante el proceso de deposición. Tiene el aspecto de una amalgama de cristales de distintos tonos azulados y grises con brillo metálico. ^[2].



Fig.3. (Panel solar policristalino, fuente: www.censolar.com)

- c) **Silicio amorfo:** en donde ha desaparecido la estructura cristalina ordenada y el silicio se ha depositado formando una capa fina sobre un soporte. El aspecto es de tonos color marrón y gris oscuro. Es el silicio típico de las calculadoras.^[2]

3.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO.

3.2.1 El módulo fotovoltaico.

Un módulo fotovoltaico esta formada por un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas eléctricamente entre sí, encapsuladas en un único bloque que la costumbre ha dado de llamar panel o módulo fotovoltaico, y que constituye el elemento básico con el que se construyen los generadores fotovoltaicos.

El módulo fotovoltaico proporciona los niveles de voltaje y corrientes adecuados a cada aplicación, protege a las células frente a las agresiones de los agentes de la intemperie las aísla eléctricamente del exterior, la hermeticidad del modulo es esencial para impedir la penetración de los agentes atmosféricos que favorecería la corrosión y deterioro de los contactos metálicos y por ultimo, da rigidez mecánica al conjunto.^[2]



Fig.4 Modulo fotovoltaico típico (fuente, www.itdg.org.pe-Soluciones Practicas)

Al conectar en serie entre 30 y 36 células se llega a tensiones del orden de 20 V en CC.

Sin embargo se habla de una tensión nominal por panel o modulo fotovoltaico de 12 V.

El exceso de tensión se requiere para:

-Compensar la caída de tensión en los conductores.

-Compensar las caídas de tensión en las cargas o aparatos de consumo.

-Poder cargar batería de 12 V nominales, ya que estas requieren llegar hasta tensiones de carga del orden de 14,5 V.

-Compensar las pérdidas de tensión entre los bornes del panel debido al aumento de la temperatura por exposición a la radiación solar.

Una de las características esenciales de los módulos fotovoltaicos es su curva de trabajo I –V (corriente- Voltaje). Los valores de corriente y voltaje del modulo dependen de la insolación, de la temperatura de la célula, de la masa de aire que atraviese la radiación solar, y por supuesto de la resistencia ohmica de la carga conectada. [2]

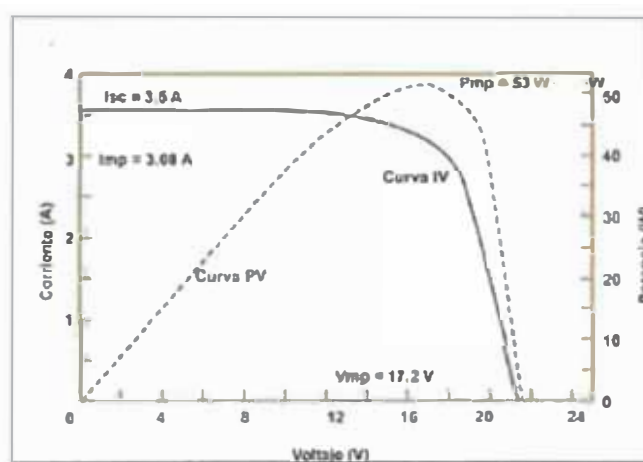


Fig. 5 (Curva I-V y P-V para un módulo fotovoltaico típico a CEM de 1000 W/m^2 , $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y AM 1.5, fuente: <https://upcommons.upc.edu>)

[2] Ver ref. [2], Pág. 112 al 115.

3.2.2 Interconexión de módulos fotovoltaicos.

No conectaremos entre sí módulos de distintas características ni de distintos fabricantes. Tenemos tres posibilidades:

Conexionado en paralelo. Se conecta entre si todos los polos positivos, y todos los negativos.

Cuando conectamos los módulos en paralelo la tensión del generador es la tensión original del módulo y la intensidad de corriente de salida (I_G) es la intensidad de un módulo por el número de módulos en paralelo N_p [3]

$$I_G = i_M * N_p \quad (1)$$

Conexionado en serie. La conexión se hace del polo positivo de uno al negativo del siguiente.

En el conexionado en serie la tensión de salida es la tensión del módulo por el número de módulos en serie N_s . y la intensidad de corriente es la que produciría un módulo individualmente: [3]

$$V_G = v_M * N_s \quad (2)$$

Conexionada mixto serie/paralelo. Intervienen ambos conexionados, pero teniendo en cuenta que los conjuntos interconectados en serie o paralelo deben tener las mismas características, es decir tener el mismo número de celdas y estar conectadas de igual forma.

Para el conexionado serie-paralelo la tensión de salida es el producto del numero de módulos en serie por la tensión del modulo y la intensidad de corriente es el número de módulos en paralelo por la intensidad de corriente del módulo. El número total de módulos N_T será: [3]

$$N_T = N_p * N_s \quad (3)$$

Para conseguir la potencia deseada en el generador fotovoltaico es necesario interconectar los módulos. La potencia pico total del generador P_{PG} viene dada por el producto de la potencia pico del módulo fotovoltaico P_{PM} y el número de módulos N_T .^[3]

$$P_{PG} = P_{PM} \cdot N_T \quad (4)$$

3.2.3 Batería

Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de ciclo profundo, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse. En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas. Así, mientras una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperios durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperios durante 100 horas.^[4]

Al reemplazar el antimonio por un pequeño porcentaje de calcio, lo que hace más difícil la fabricación de la batería, se elimina prácticamente la gasificación. Para cargar por completo estas baterías se puede aplicar voltajes de 16 - 17 V sin producir gasificación. Estas baterías vienen totalmente selladas, "*libres de mantenimiento*", teniendo un costo 1.5 - 2 veces más de lo que cuesta una batería de arranque normal (automóvil). Las baterías con calcio tienen una autodescarga muy baja de 3% al mes y también tienen una buena eficiencia de carga de 90 - 97%, pero no aguantan descargas profundas, como es el caso de las baterías abiertas y con antimonio en la aleación.

La capacidad de la batería se mide en "amperio-hora (Ah)", una medida comparativa de la capacidad de una batería para producir corriente. Dado que la cantidad de energía que una batería puede entregar depende de la razón de descarga de la misma, los Ah deben ser especificados para una tasa de descarga en particular. La capacidad de las

baterías fotovoltaicas en Ah se especifica frecuentemente a una tasa de descarga de 100 horas (C-100).^[4]

3.2.4 Interconexión de elementos de baterías.

Mediante el conexionado en serie la tensión del conjunto es la tensión del vaso por el número de vasos en serie, la capacidad es la misma que la que tiene un vaso individualmente.

Conexión en paralelo la tensión se mantiene pero la capacidad se multiplica por el número de vasos o baterías en paralelo.^[5]



Fig. 6 (Baterías tipo selladas, conectadas en paralelo, 12 V CC de salida; cables de conexión # 2 x 10)

La energía acumulada en un conjunto de baterías viene dado por la expresión:

$$E = C_B * V_B, \quad (5)$$

donde la tensión de la batería V_B es:

$$V_B = N * v_{\text{elemen.}}, \quad (6)$$

y su capacidad C_B es:

$$C_B = N * C_{\text{elemen.}}, \quad (7)$$

[4]. Electricidad Solar. E. Lorenzo y otros del instituto de energía solar –universidad politécnica de España, primera edición, 1994, Editorial Artes Graficas Gala, S.L. Sevilla España. Pág. 121 a 217

donde:

E: Energía en Wh.

C_B : Capacidad en Ah del conjunto.

V_B : Tensión en voltios del conjunto.

N: número de vasos en serie o en paralelo, según el caso.

V_{elemen} : Tensión del elemento individual en voltios.

C_{elemen} : Capacidad del elemento en amperios hora Ah.

En la disposición de los elementos de la batería se debe tener en cuenta, el espacio disponible, facilidad de acceso y comprobación de todos ellos.

3.2.5 Regulador o controlador de carga.

El positivo y negativo del generador fotovoltaico se conectan a este aparato que suministra la tensión y la corriente que debe llegar a la batería según el estado de carga a que esta se encuentre.

Este es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas. Este aparato asegura la vida útil de la batería. ^[5]

3.2.6 El Inversor o convertidor CC/CA

La corriente generada en el campo de paneles y suministrada por las baterías es continua, y aunque existe un mercado especializado de aparatos que funcionen a CC, a 12 V, 24 V e incluso 48 V, el precio de los mismos y la dificultad, en ocasiones, de

encontrar repuestos hace recomendable plantear la implementación de un inversor que transforme la corriente continua en alterna a 220 V y 60 Hz, que son características de la corriente suministrada por las compañías a nuestros hogares.

Inversor usado e instalado en la central de carga se muestra a continuación.^[5]



Fig. 7 (Inversor de 12 V CC a 220 V AC, material de plástico, 2 kg e instalado en la central de carga- CECADE)

Este dispositivo ha sido empleado en todas partes del mundo. Es de fácil instalación, de construcción compacta y está disponible opcionalmente con Regulador Fotovoltaico integrado. Por medio de un interruptor en el panel frontal el usuario puede seleccionar entre modo de detección automática de consumidor, operación continua o modo de suspensión, lo que reduce considerablemente el consumo en standby. Esto es particularmente importante para sistemas independientes de la red.

Características del inversor Marca Steca

- Inversor senoidal aprox. 1000 W
- Opcionalmente con Regulador Fotovoltaico integrado
- Alta capacidad de sobrecarga
- Protección óptima de la batería
- Detección automática de consumidor en modo standby

[5]. Energías Renovables, Mario Ortega Rodríguez, 1ra edición 1999 editorial Paraninfo. España., Pág. 138 a 141.

3.3 INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS EN CECADE-YAURISQUE

3.3.1 POSTE SOLAR AUTÓNOMO

Compuesta por un sistema fotovoltaico que comprende panel FV, batería, controlador de carga, y dos luminarias c/u de 15 W a CC.

3.3.1.1 Dimensionamiento del poste solar autónomo.

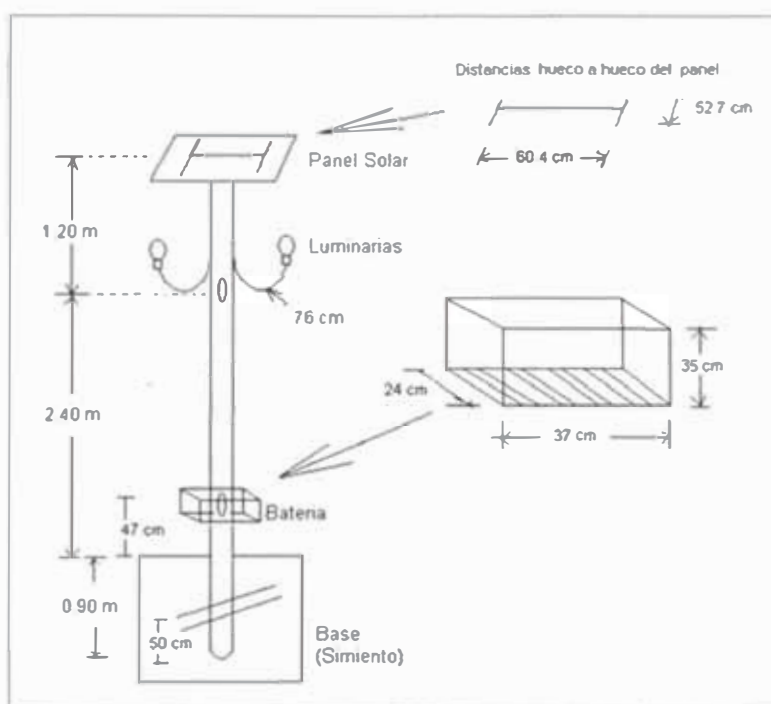


Fig. 8 Diseño y medidas del poste de luz fotovoltaico



Fig. 9 Vista de la estructura metálica del poste solar autónomo

Materiales

- 01 tubo de 2" diámetro x 4.50 m
- 02 fierros de ½ "de 35 cm para la base
- 02 platinas de ½" x 2" de 76 cm para los arcos de las luminarias.
- 01 platina de ½" x 2" de 1.7 m para la base del panel
- 01 platina de 1/8" x 2" de 1.20 m para la base de la batería
- 02 bisagras de 2" x 3/8"
- Angulo de 1 x ½" de 1.50 m para la tapa de la batería
- Angulo de 2.5 x 1.1/4 "de 2.50 m para la caja de la batería
- Plancha de 1/40 "para la caja de la batería

Cableado y otros

- Cable 2x12 de 3.80 m del panel al controlador
- Cables 2x12 de 0.70 m de la batería al controlador
- Cable de 2x14 de 5.70 m de las luminarias al controlador
- 02 terminales para la batería
- 01 timer (encendido y apagado automático de las luminarias).

3.3.1.2 Conexiones eléctricas

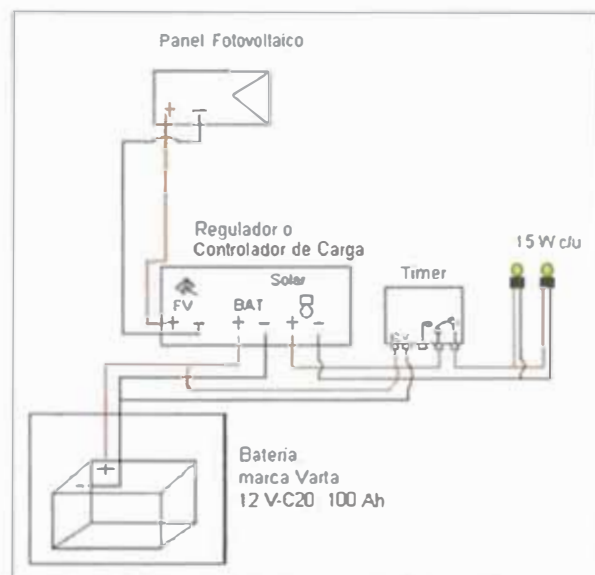


Fig. 8 Esquema eléctrico del poste de luz fotovoltaico

El panel fotovoltaico convierte la energía solar en energía eléctrica CC la cual es transportada hacia un controlador de carga y del controlador a la batería, dicho controlador nos regula las descargas y sobrecargas del sistema, esta energía eléctrica es utilizada para el encendido automático de las luminarias. Ver fig. 8

Nota: el manejo del timer se indica en el anexo 1.

Poste solar autónomo al término de la instalación eléctrica.



Fig. 9 iluminación del poste solar autónomo



Fig. 10 Termino de la instalación

3.3.1.3 Caracterización del panel fotovoltaico del poste solar autónomo.

El módulo fotovoltaico a caracterizar es del tipo silicio monocristalino y tiene los siguientes datos (dados por el fabricante).

Marca	: Shell Solar
Número de serie	: 019771 N 628037998
Procedencia	: USA
Corriente de corto circuito (I_{SC})	: 4.9 A
Voltaje de circuito abierto (V_{OC})	: 21.4 V
Potencia máxima ($P_{MÁX}$)	: 80 W

Procedimiento

1. Consideraciones generales de medida.

- G (Radiación Solar Incidente) > 600 w/m²
- velocidad del viento ($1 \text{ m/s} \leq v \leq 8 \text{ m/s}$), viento moderado.
- inclinación del panel $\lambda + 15^\circ$ (λ = latitud del lugar)
- orientada al norte (hacia el ecuador)
- limpieza del modulo.
- exponer al modulo una hora antes de la caracterización.

Registraremos las características del modulo fotovoltaico y la información facilitada por el fabricante, como I_{sc} , V_{oc} , $P_{máx}$, y otras.

Realizar la inspección visual para detectar posibles fallos de esta.

2. Diagrama eléctrico para la caracterización.

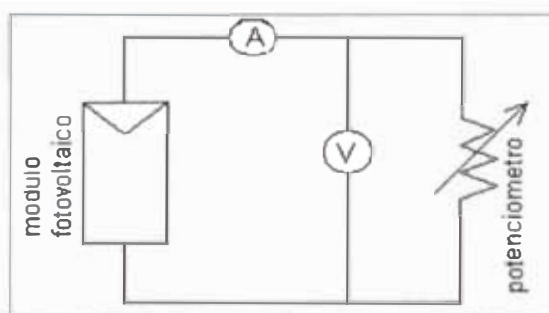


Fig.11 Diagrama eléctrico para la caracterización del SFV

3. Debemos tener presente que la radiación del lugar sea casi constante en toda la medición.
4. Tomar las medidas de corriente, voltaje (haciendo variar el potenciómetro), temperatura ambiente y radiación.
5. Debemos tener presente también de determinar la corriente de corto circuito ($V=0$) y el voltaje de circuito abierto ($I=0$).
6. Graficar los datos obtenidos de la corriente (A) vs. voltaje (V) a la temperatura ambiente.
7. Graficar potencia (W) vs. voltaje (V).
8. Determinar la potencia máxima del módulo fotovoltaico con estos parámetros encontrados.

Instrumentos de medición

1. 01 sensor de radiación calibrado marca KIPP, modelo CM11-871667 cuya constante es de $5,017 \mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$
2. 01 Multímetro marca DIGITAL modelo YF-3220, resolución de 0,01 V/0,1 V para medición del voltaje.
3. 01 Multímetro marca DIGITAL modelo YF-3220, resolución de 0,01 A para medir la corriente continua.
4. 01 Termómetro digital marca CIE modelo 305P con termocupla tipo K, resolución 0,1 °C.
5. 01 Multímetro marca TECH modelo TM-125, resolución 0,1 mV para medición de la radiación en mV.
6. 01 Termómetro líquido en vidrio (TLV) de mercurio para medir la temperatura ambiente de división de escala 1°C.
7. Resistencia variable de 16 Ω .

Toma de datos experimentales con cielo despejado a horas entre las 9:00 AM a 2:00 PM.



Fig. 12 Toma de datos de radiación solar, temperatura ambiente, y voltaje - corriente del controlador del SFV.



Fig. 12 Instalación de equipos (sensor de radiación, resistencias variables, multímetros, se muestran dos termocuplas colocadas en la parte superior e inferior del panel fotovoltaico)

3.3.1.4 Cálculos y resultados

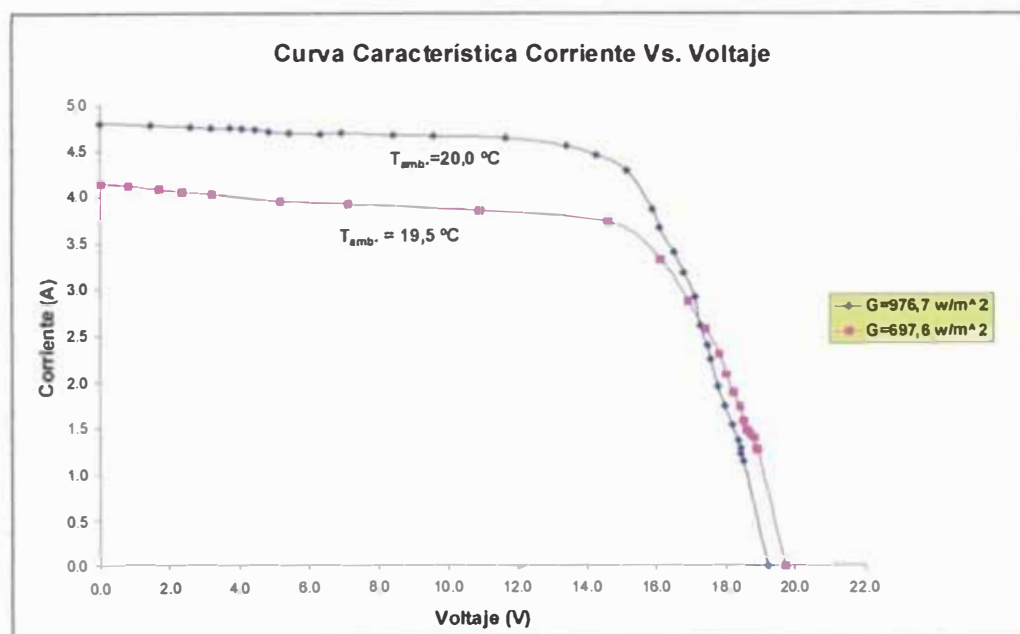


Fig. 13. Curva característica de Corriente (A) y Voltaje (V) medida del panel fotovoltaico, a diferentes grados de temperatura ambiente y radiación incidente (G)

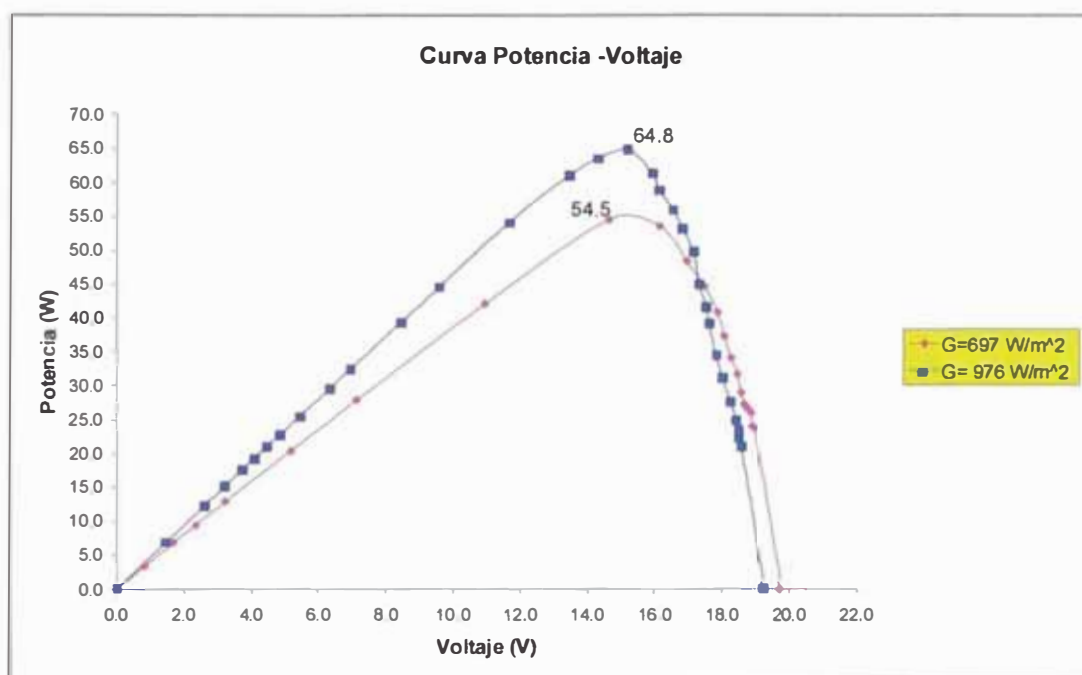


Fig. 14. Curva característica de Potencia (W) y Voltaje (V) del panel fotovoltaico en el poste solar autónomo, que muestra la potencia máxima alcanzada por el sistema.

Radiación Incidente W/m^2	Potencia Máxima W	Temperatura Ambiente $^{\circ}\text{C}$
697	54.5	19.5
976	64.8	20.0

Tabla 1. Resultados obtenidos por el sistema fotovoltaico a diferentes temperaturas ambientales

3.3.2 GENERADOR FOTOVOLTAICO

El generador fotovoltaico está compuesto por varios paneles fotovoltaicos conectados en paralelo ó serie ó mixto (serie/paralelo).

La elección de la tensión de trabajo se hace en función de la potencia a instalar y de la tensión de trabajo de los consumos (luminarias y otros), de la longitud de los conductores y de la sección necesaria de los mismos que debe ser, como veremos proporcional a la intensidad que circula por ellos, y del análisis de costo de cada configuración posible. En el diseño de la estructura-soporte se debe de tener en cuenta el interconexionado para determinar la posición óptima de los módulos, minimizando de este modo el cableado, sobre todo en instalaciones de mediano y gran tamaño. ^[6]

3.3.2.1 Dimensionamiento.

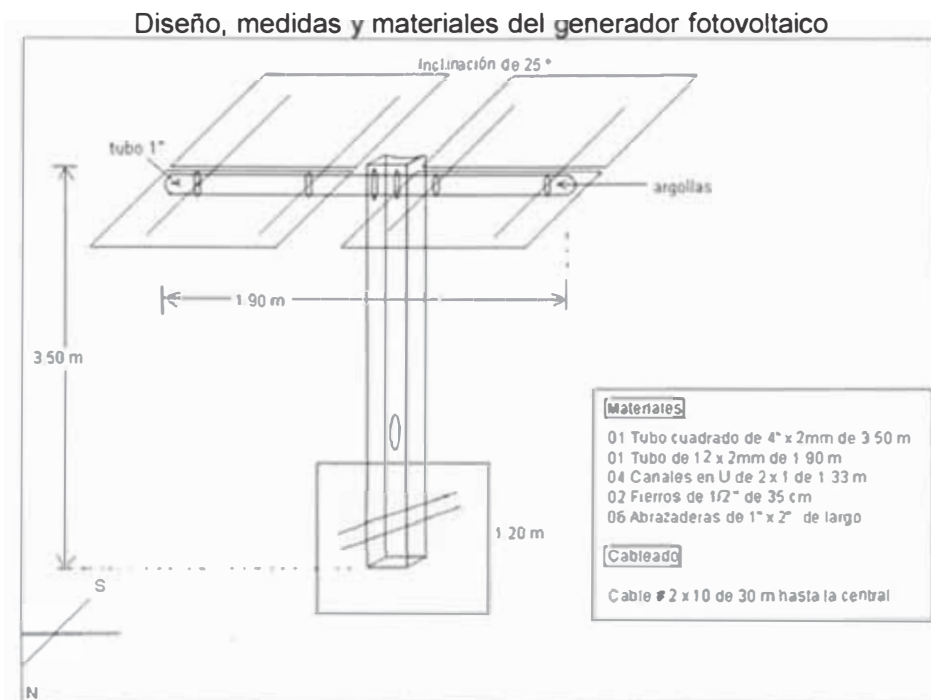


Fig. 15 Generador fotovoltaico instalado en "CECADE" que está compuesto por 4 paneles fotovoltaicos colocados en paralelo, estructura de fierro (tubos) y una base de cemento para sostener el sistema.

Nota: Podemos posicionar el ángulo de inclinación del generador fotovoltaico moviendo el tubo de 1".



Fig. 16 Generador fotovoltaico al término de la instalación para cargar un banco de cinco baterías de 12 V cada uno.

3.3.2.2 Conexiones eléctricas

Esquema eléctrico del generador fotovoltaico

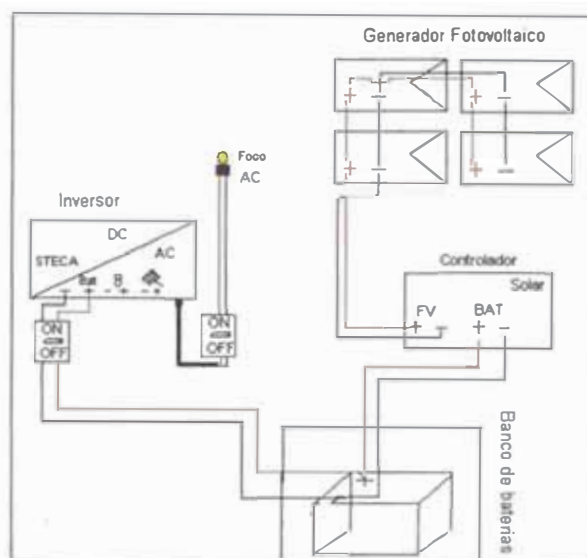


Fig. 17. La energía eléctrica de CC captada por este generador fotovoltaico es llevada hacia la central de carga mediante conductores (cable # 10), llegando a un controlador, suministrando voltaje al banco de baterías para luego llegar al inversor 220 V AC y ser usada para consumo.

3.3.2.3 Caracterización del generador fotovoltaico.

Datos del fabricante de los paneles FV instalados en el Generador Fotovoltaico:

Marca: Solarex

Primer panel fotovoltaico: modelo VLX80 Vca: 21.1 V, Icc: 5.1 A, 80.0 W

Segundo panel fotovoltaico: modelo VLX80 Vca: 20.8 V; Icc: 5.4 A; 81.1 W

Tercer panel fotovoltaico: modelo MSX83 Vca: 21.1 V, Icc: 5.4 A 81.7 W

Cuarto panel fotovoltaico: modelo MSX83 Vca: 21.1 V, Icc: 5.1 A 80.0 W

Procedimiento

1 Consideraciones generales de medida.

- G (radiación solar incidente) > 600 w/m²
- velocidad del viento (1 m/s ≤ v ≤ 8 m/s), viento moderado.
- inclinación del generador FV: $\lambda + 15^\circ$ (λ = latitud del lugar)
- orientada hacia el ecuador
- limpieza de los módulos FV.
- exponer los módulos FV una hora antes de la caracterización.

2. Cuando tengamos los módulos fotovoltaicos registraremos sus características físicas e información facilitada por el fabricante, como I_{sc} , V_{oc} , $P_{m\acute{a}x}$, y otras. Así como la inspección visual para detectar posibles fallos de los módulos.

3. Para nuestro caso tenemos 2 pares iguales de paneles fotovoltaicos de mínimas diferencias entre sus características y los valores de sus parámetros entre estos pares de paneles fotovoltaicos. Por ello se ha adoptado caracterizar el generador fotovoltaico empleando el siguiente circuito eléctrico.

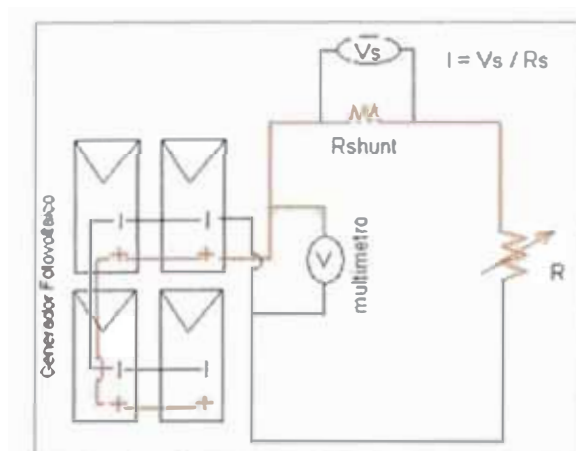


Fig. 18 Circuito para determinar la curva característica del generador fotovoltaico

donde:

R_s , es la resistencia de shunt, la cual tiene un valor fijo de $6.5 \text{ m}\Omega$

R , es la resistencia variable (potenciómetro) en ohm

4. Debemos tener presente que la radiación del lugar sea casi constante en toda la medición.
5. Tomar las medidas de V_s (mV), el voltaje (V) (haciendo variar el potenciómetro), temperatura ambiente y radiación.
6. Debemos tener presente también de determinar la corriente de corto circuito ($V \sim 0$) y el voltaje de circuito abierto del generador fotovoltaico ($I \sim 0$).
7. Determinar la corriente en (A) mediante la fórmula (V_s/R_s).
8. Graficar los datos obtenidos de la corriente (A) y voltaje (V) a diferente radiación y temperatura ambiente.
9. Graficar potencia (W) vs. voltaje (V).
10. Determinar la potencia máxima del generador fotovoltaico.

Materiales e Instrumentos de medición

1. 01 resistencia de "shunt" (fabricada en el CER-UNI) de valor: $6.5 \text{ m}\Omega$
2. 01 resistencia variable (potenciómetro) de 16Ω
3. 01 sensor de radiación calibrado marca KIPP, modelo CM11-871667 cuya constante asignada es de $5.017 \mu\text{V/W/m}^2$
4. 01 Multímetro marca TECH modelo TM-125, resolución $0,1 \text{ mV}$ para medición de la radiación en mV que da el sensor de radiación.
5. 01 termómetro analógico para medir la temperatura ambiente (TLV).
6. 01 Multímetro marca DIGITAL modelo YF-3220, resolución de $0,01 \text{ V}/0,1 \text{ V}$ para medición del voltaje.
7. 01 Multímetro marca DIGITAL modelo YF-3220, resolución de $0,01 \text{ V}/0,1 \text{ V}$ para medición del voltaje de shunt en mV.

Toma de datos experimentales en un día de cielo despejado entre las 10 AM a 2 PM, mediante los equipos instalados a continuación



Fig. 19 Sensor de radiación calibrado marca KIPP, modelo CM11-871667



Fig. 20 Conexión eléctrica para la caracterización del generador FV (Controlador, resistencias variables 16Ω , resistencia de shunt, multímetros)

3.3.2.4 Cálculos y resultados.

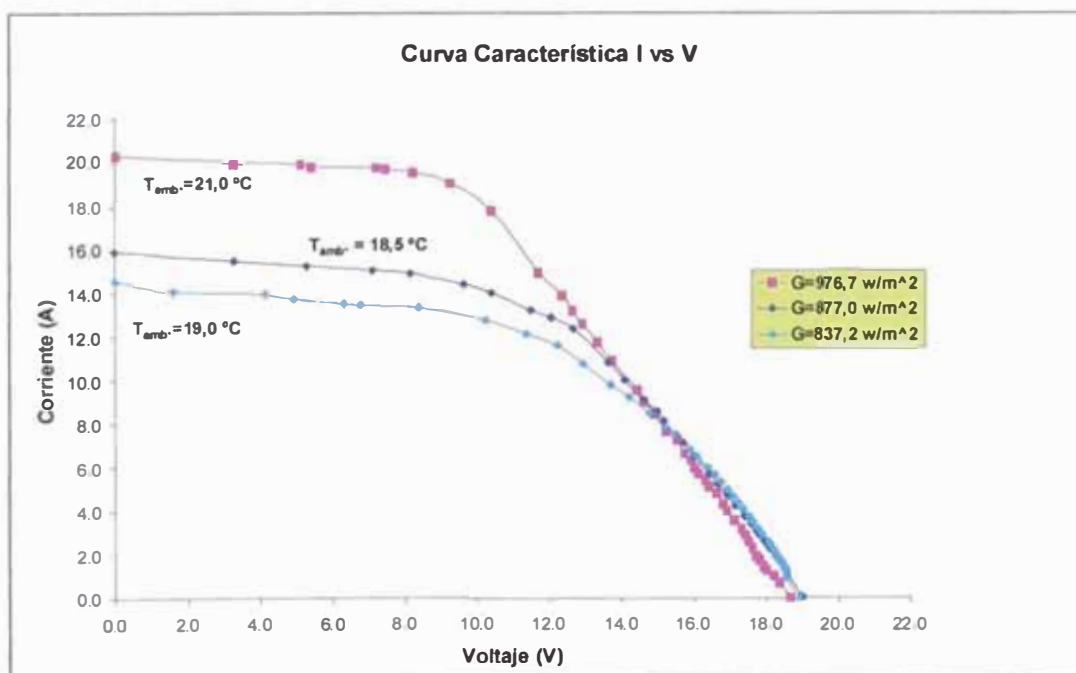


Fig. 21. Curva característica muestra el comportamiento de la corriente (A) y voltaje (V) del Generador Fotovoltaico, a diferente temperatura ambiente y radiación incidente (G).

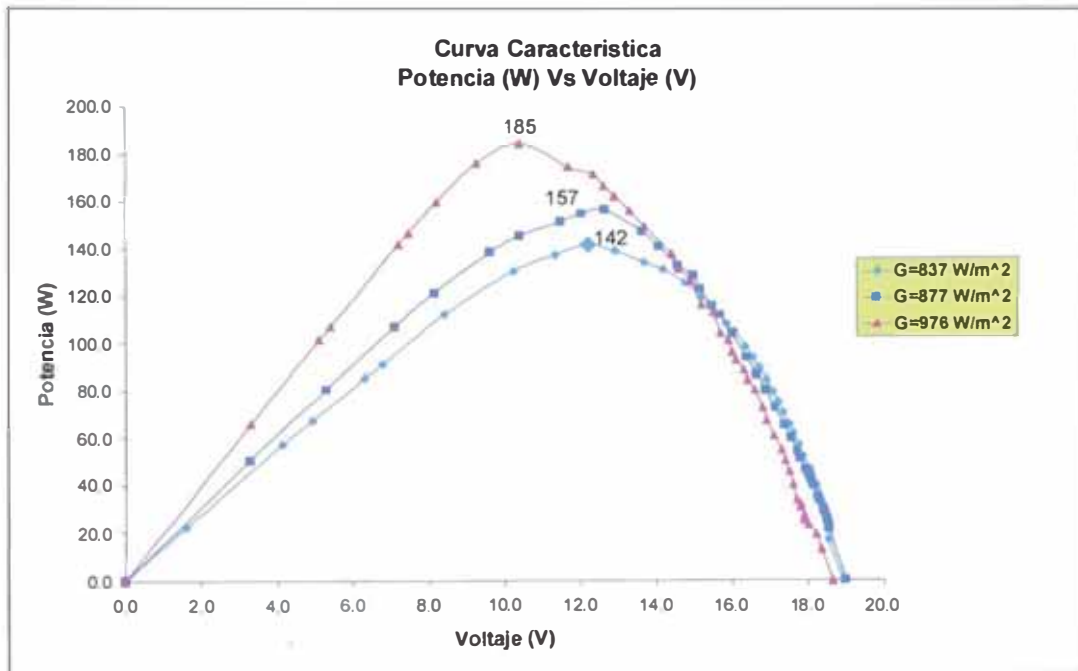


Fig. 22 Curva característica muestra la Potencia (W) Vs. Voltaje (V) y la máxima potencia alcanzada por el generador fotovoltaico a diferente temperatura ambiente y radiación incidente (G).

Radiación Incidente (W/m^2)	Potencia medida (W)	Temperatura Ambiente ($^{\circ}\text{C}$)
837	142	19.0
877	157	18.5
976	185	21.0

Tabla 2. Resultados obtenidos por el generador fotovoltaico a diferentes temperaturas ambientales

3.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Ventajas

Es una energía limpia, silenciosa, inagotable y renovable.

Los usos más interesantes para la energía solar se ubican en las áreas rurales y en pequeñas necesidades de producción.

Desventajas

➤ Solo nos proporciona electricidad si hay radiación solar.

El costo del sistema fotovoltaico es elevado.

IV. ENERGÍA EÓLICA

La circulación del viento es una consecuencia de la radiación solar. Ya sabemos que la cantidad de energía que cede la radiación solar depende de la latitud del lugar, al depender del ángulo de incidencia, así en las regiones polares se produce un calentamiento menor que en el ecuador. El aire más caliente es menos denso y asciende, siendo desplazado por otro más frío y pesado. En distintos puntos de la Tierra existen diferentes cuotas de insolación que provocan la aparición de desequilibrios de temperatura que hacen variar la densidad de las masas de aire y, por consiguiente, variar la presión. El aire, como cualquier otro gas se moverá desde las zonas de alta presión a las de baja presión, produciendo el viento. Sin embargo, no sólo esta fuerza provocada por el gradiente de presión provoca el movimiento del aire; en la circulación de las masas de aire también influye la fuerza gravitacional, las fuerzas de fricción que provocan gradientes de viscosidad y la fuerza de Coriolis. Además, para definir con precisión el régimen de vientos en un punto también se deben considerar otras variables como la situación geográfica, las características de climas locales, la topografía de la zona, la orografía del terreno. [7]

La energía eólica se lleva explotando desde la antigüedad, aunque no de la forma en que la conocemos hoy en día. Antiguamente se aprovechaba la fuerza del viento para mover barcos de vela, moler el grano en molinos. En la actualidad, gracias a sofisticados aerogeneradores se transforma la energía del viento directamente en energía eléctrica

[7]. Energías Renovables, Mario Ortega Rodríguez, 1ra edición 1999 editorial Paraninfo. España., Pág. 159

4.1 Aerogeneradores

Los aerogeneradores transforman la energía cinética del viento en electricidad.

Las máquinas eólicas (aerogenerador) deben reposar sobre un soporte que debe resistir el empuje del viento y las eventuales vibraciones. Por otra parte, su altura debe ser suficiente como para que las turbulencias debidas al suelo no afecten a la máquina y no se produzca una perturbación localizada sobre el régimen de vientos.

El rotor en general, o la aeroturbina para el caso de un aerogenerador, es el elemento principal de una máquina eólica. Está integrada por un determinado número de palas y por el mecanismo de paso, que se utiliza para el control de la velocidad y potencia. Su misión es transformar la energía cinética del viento en energía mecánica aprovechable.

Los sistemas de orientación son los responsables de conocer la dirección del viento y situar el rotor en la misma dirección, de esta forma se disminuyen los esfuerzos y las pérdidas de potencia. Los dispositivos de orientación se suelen escoger según la potencia de la instalación eólica: en las de pequeña y mediana potencia se instala una cola que actúa como una veleta reorientando el rotor según el viento, mientras que en las mayores se usan palas inclinadas ligeramente hacia atrás, de tal forma que al rotar describan un cono, cuando el rotor no está orientado las palas que están más a favor del viento reciben un empuje mayor devolviendo al rotor a la posición de equilibrio.

Finalmente, el sistema de generación, que está constituido normalmente por un alternador y es el encargado de generar la producción de energía eléctrica.

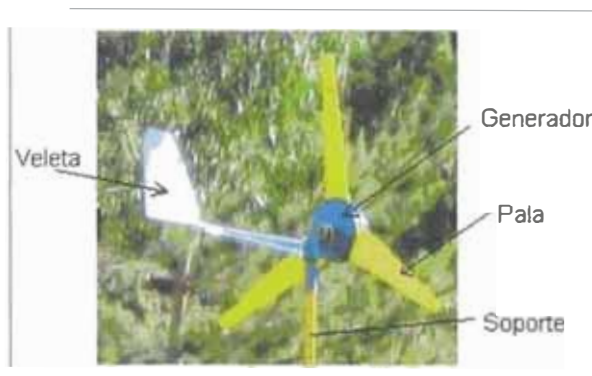


Fig.23 partes del aerogenerador (aerogenerador instalado en CECADE)

4.2 Generalidades sobre el viento

La fuerza que el viento ejerce sobre una superficie interpuesta en su trayectoria depende de su velocidad. La velocidad del viento se mide con el anemómetro, existiendo muchos tipos de estos aparatos, según el principio físico en que se basen.^[8]

El anemómetro analógico usado para medir la velocidad del viento en la caracterización del aerogenerador es mostrado en las siguientes figuras.



Fig. 24 Anemómetro usado en CECADE

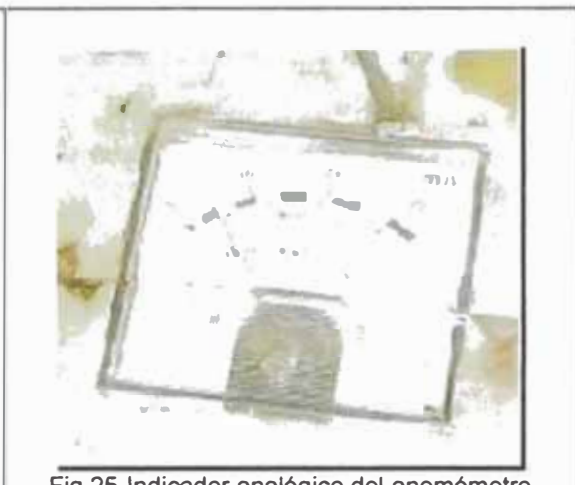


Fig.25 Indicador analógico del anemómetro

4.2.1 La energía contenida en el viento. Teoría de Bezt para los motores eólicos.

Considerando un tubo de corriente de fluido, en este caso aire, y suponiendo que este es incompresible, es decir que mantiene la densidad constante, se cumple que el caudal que atraviesa cualquier sección de la vena de fluido es en todo momento constante.

$$Q_1 = Q = Q_2 \quad (8)$$

Esto es lo mismo que decir que el producto de la sección por la velocidad en cualquier punto es constante. Esta ley es llamada teorema de continuidad. Y se expresa así:

$$S_1 v_1 = S v = S_2 v_2 \quad (9)$$

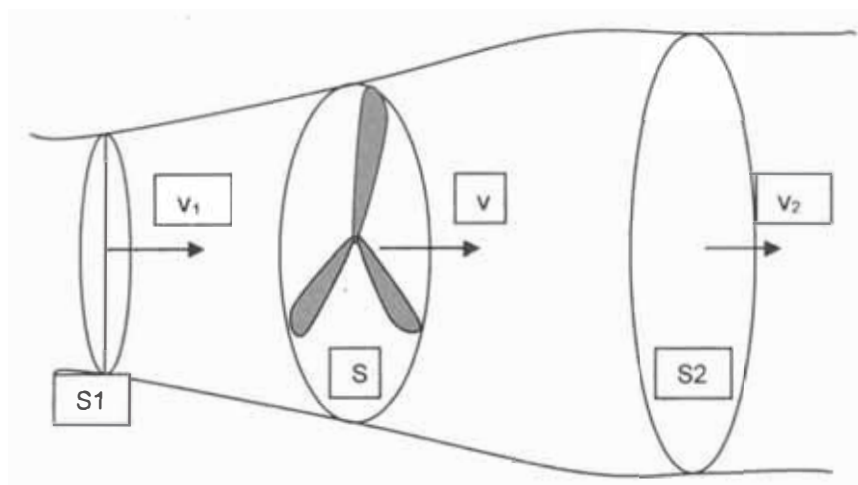


Fig. 26. Tubo de corriente de aire a su paso por el área barrida por las palas de una máquina eólica.

La energía contenida en una masa de aire en circulación es la debida a su movimiento y a la altura a la que se encuentre (teorema de Bernoulli). Por tanto, suponiendo que el aire circule horizontalmente sin variar la altura, la energía extraíble es cinética.

La definición general de la energía cinética E_C , de un cuerpo en movimiento es

$$E_C = (1/2) m v^2 \quad (10)$$

donde m , es la masa del cuerpo y v , es la velocidad con la que se mueve.

Sabemos que: $m = \rho V$

La energía cinética que posee una masa de aire de densidad ρ y volumen V es:

$$E_C = (1/2) \rho V v^2 \quad (11)$$

Y, si este volumen atraviesa el área barrida por las palas de un aerogenerador disminuye su velocidad, la energía cedida en las palas será la diferencia entre la energía cinética antes y después, según:

$$E_{C1} - E_{C2} = (1/2) \rho V (v_1^2 - v_2^2) \quad (12)$$

En donde v_1 y v_2 son las velocidades del aire antes y después de interaccionar con las palas.

Como el volumen V , que atraviesa el área barrida S , en un tiempo t , es el caudal Q , y al mismo tiempo el caudal es la sección del mismo área S , por la velocidad del aire v , a su paso por las palas del aerogenerador .

$$Q = S v \quad (13)$$

$$V = Q t = S v t \quad (14)$$

Y dado que la potencia desarrollada por el viento sobre el aerogenerador es la energía cedida entre el tiempo durante el que la cede:

$$P = (E_{C1} - E_{C2})/t \quad (15)$$

Entonces según las expresiones anteriores la potencia absorbida por la maquina será:

$$P = (1/2) \rho S v (v_1^2 - v_2^2) \quad (16)$$

Enfocando el problema de otro punto de vista, y determinando la fuerza que ejercen las palas contra el aire que los atraviesa, tendremos:

$$F = m a = \rho V (v_1 - v_2)/t = \rho S v (v_1 - v_2) \quad (17)$$

La potencia desarrollada se define también como:

$$P = F v \quad (18)$$

Entonces: $P = \rho S v^2 (v_1 - v_2) \quad (19)$

Igualando las ecuaciones (8) y (11), obtenemos:

$$v = (v_1 + v_2)/2 \quad (20)$$

Sustituyendo la ecuación (12) en la (8), tenemos:

$$P = (1/4) \rho S (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2) \quad (21)$$

Y supongamos que la velocidad del aire antes de incidir sobre el aerogenerador v_1 es constante, entonces la potencia absorbida será máxima para un valor dado de la velocidad v_2 , después de atravesar el área barrida por la palas, este valor será que el hace nula la primera derivada de la potencia respecto a v_2 .

$$(dP / dv_2) = 0 \quad (22)$$

Obteniendo dos soluciones una sin sentido físico y la otra.

$$v_2 = v_1/3 \quad (23)$$

Reemplazamos este valor en la expresión (13), obtenemos:

$$P = (8/27) \rho S v_1^3 \quad (24)$$

Esta expresión es la formula de Betz. ^[9]. La formula representa el limite de la potencia teórica máxima extraible de un fluido con densidad constante. Las maquinas reales tienen un rendimiento mecánico, o bien mecánico y eléctrico si son eólicas para generación de electricidad, luego la potencia real obtenible será menor que la establecida por Betz.

Con las ecuaciones (9), (20) y (23), podemos despejar S en función de S_1 y luego reemplazamos en la formula de Betz obteniendo:

$$P_{Máx} = (8/9) ((1/2) \rho S_1 v_1^3) \quad (25)$$

Esta expresión representa la potencia máxima en función de la potencia ficticia contenida en la masa de aire antes de interaccionar con las palas de la eólica.

[9]. Energías Renovables, Mario Ortega Rodríguez, 1ra edición 1999 editorial Paraninfo. España., Pág. 169

En buena aproximación, la potencia desarrollada por un aerogenerador de 3 aspas es:

$$P_{\text{Máx}} = (8/9) C_p ((1/2) \rho S_1 v_1^3) \quad (26)$$

Donde C_p es el coeficiente de potencia o eficiencia del aerogenerador sobre el límite de Betz, que toma valores entre 0,2 y 0,45 en función de la velocidad de giro y la velocidad del viento incidente. Cuanto mayor tamaño tenga el aerogenerador mayor es el valor de C_p . Ni siquiera en una máquina perfecta se puede extraer toda la energía contenida en el viento. La energía teórica máxima que podemos extraer de una masa de aire en movimiento horizontal sin rozamiento y con densidad constante es ocho novenos de la debida a su velocidad ^[10]

[10]. Energías Renovables, Mario Ortega Rodríguez, 1ra edición 1999 editorial Paraninfo. España., Pág. 170 -171

4.3 INSTALACIONES EOLICAS EN CECADE-YAURISQUE

Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por la acción del viento. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, mueve la hélice y, a través de un sistema mecánico, hace girar el rotor de un generador, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. La energía eléctrica se almacena en las baterías situadas en la central de carga.

4.3.1 Características principales del aerogenerador instalado en CECADE.

Un rotor tripala de 1.7 m de diámetro de perfil aerodinámico NACA 4412, generador sincrónico trifásico con imanes permanentes de ferrita y diodos rectificadores, cuya potencia nominal es de 100 W. Adquirida de la ONG – Soluciones Prácticas ITDG.

El aerogenerador funciona en el rango de 4 m/s a 15 m/s, para luego salir del viento si las velocidades son superiores. En yaurisque se han registrado velocidades de vientos menores a los 10 m/s.

4.3.2 Izaje de los aerogeneradores.

El aerogenerador colocado a 10 m de altura cuyo soporte tiene 2" de diámetro y con tensores, se levanto colocando un andamio de 6 m de alto que se usa para apoyar al aerogenerador y una soga colocada aproximadamente a $\frac{3}{4}$ de lo alto de la torre (7 a 8 m desde la base) la cual nos sirve como timón en el momento del levantamiento. Se ubicaron a 3 personas en cada una de las 3 argollas ancladas al piso separadas 120° a la redonda a una distancia de 6 m desde la base del soporte, para luego proceder a Jalar con fuerza la soga y los cables de los templadores (tensores) hasta que el soporte se encontré en posición vertical con la base (usamos un nivel), luego ajustar los templadores hasta tensar los cables. Tratar que no se doble el soporte del aerogenerador al momento del izamiento. Tener en cuenta para este proceso de levantamiento una persona que dirija la operación de izaje.

4.3.3 Poste eólico autónomo (Aerogenerador)

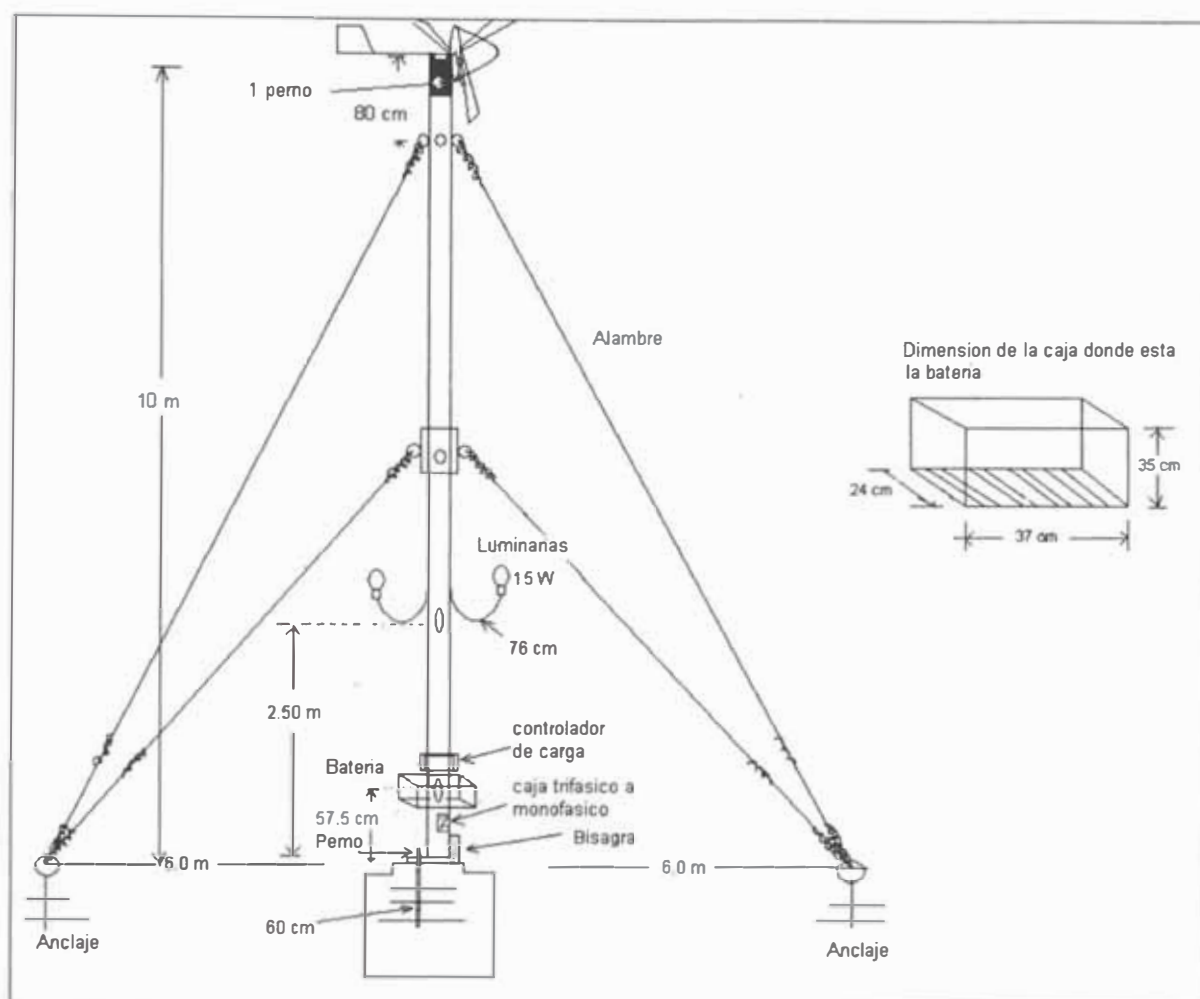


Fig. 27 Diseño y dimensiones del poste eólico autónomo

Materiales Empleados en la construcción

- 01 tubo de 2"x 2mm de 10 m
- 01 fierro de 5/8" de 1.40 m
- 02 pernos de 5/8 x 4"
- 03 fierros de 3/8" x 1 m para los anclajes
- 01 perno de 3/8"x 4"
- 02 bisagras de 2"x 3/8"
- Ángulo de 1x ½ "de 1.50 m para la tapa de la batería

Ángulo de 2.5x 1.1/4" de 250 m caja de la batería.

01 Plancha entera de 1/40"

02 platinas de 1/2" x 2 de 76 cm

06 templadores de 3/8"

7 Kg. de alambre #10

Cableado

10 m de cable # 2x12

3 m de cable # 2x14

02 luminarias de 15 W con sus respectivos protectores

4.3.3.1 Conexiones eléctricas.

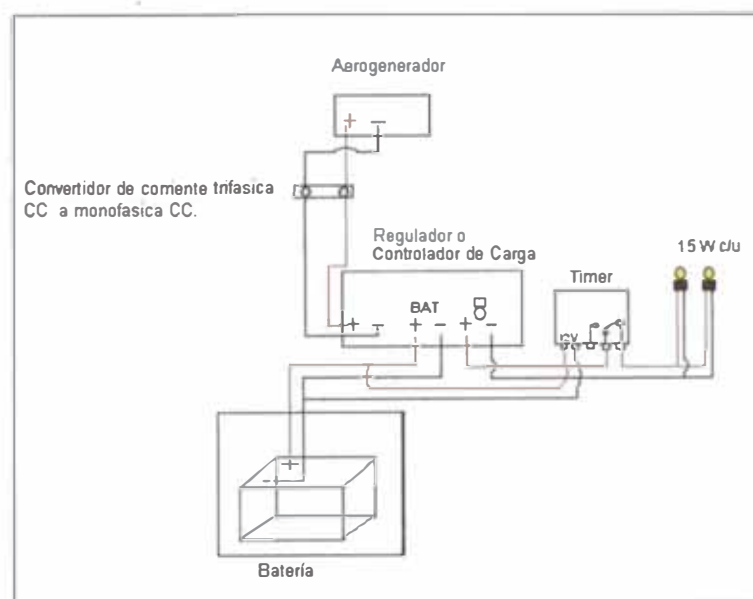


Fig. 28 El sistema convierte la energía del viento en energía eléctrica trifásica de CC la cual es transformada a monofásica de CC y transportada hacia un controlador de carga y del controlador a la batería, dicho controlador nos regula las descargas y sobrecargas del sistema, esta energía eléctrica es utilizada para el encendido automático de las luminarias de 15W CC, el encendido y apagado automático de las luminarias nos brinda el timer.

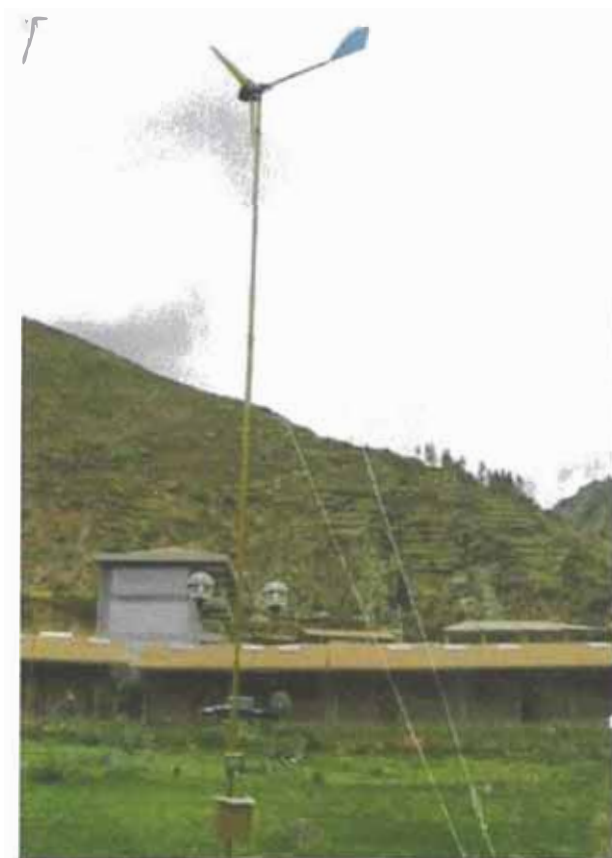


Fig. 29. Poste eólico autónomo al término de la instalación, perpendicular al piso y cuenta con dos luminarias de 15 W de CC

Este poste eólico autónomo como así ha denominado tiene un sistema puesta a tierra ubicada en el área que encierran los templadores.

El encendido y apagado de las luminarias de 15 W de CC es automático y se puede programar la hora de encendido y apagado mediante el timer.

4.3.4 Aerogenerador

Este aerogenerador es del mismo modelo y fabricación que el instalado para el poste eólico autónomo cuyo proveedor es ITDG. El izaje del aerogenerador se realizó del mismo modo que el poste eólico autónomo.

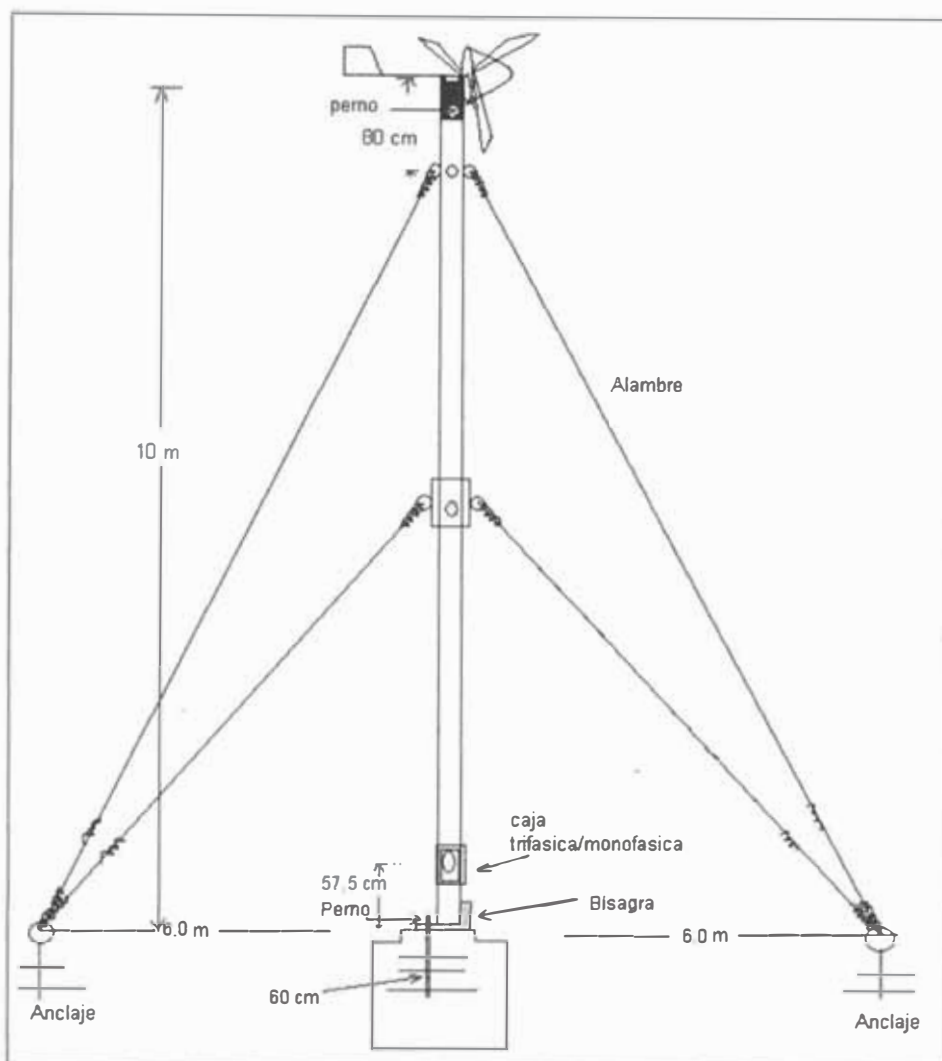


Fig. 30 En el diseño y dimensiones del aerogenerador observamos que las bisagras nos ayuda a la perpendicularidad del poste, los anclajes a que no se mueva el poste y evitar su caída.

Materiales empleados para su construcción

01 tubo de 2 "x 2" mm x 10 m

01 fierro de 5/8" de 1.40 m

02 pernos de 5/8"x 4"

03 fierros de 3/8"x 1m para los anclajes

01 perno 3/8"x 4" // 06 templadores de 3/8"

7kg. de alambre #10 // 01 bisagra de 3/8"

30 m de cable de 2x12

4.3.4.1 Conexión eléctrica

Esquema de conexión eléctrica del aerogenerador

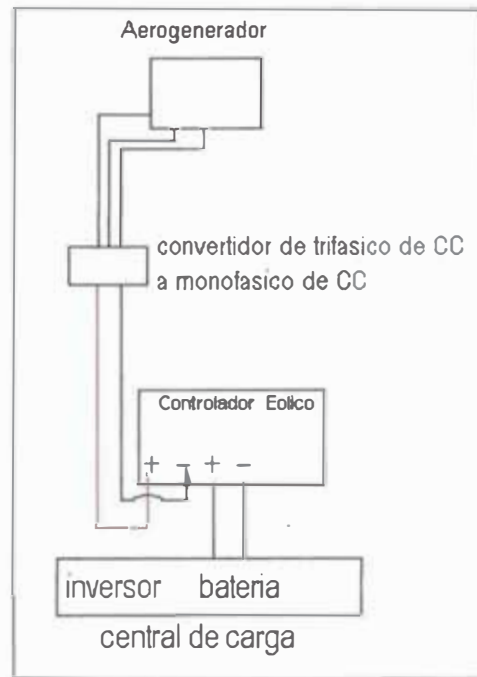


Fig.31 El gráfico muestra que la energía eléctrica trifásica CC que proviene del aerogenerador es transformada a monofásica de CC la cual es transportada a la central de carga regulada por un controlador. La energía eléctrica que se genera con este sistema quedan almacenadas en las baterías ubicadas en la central de carga, esta corriente eléctrica es utilizada para los consumos.



Fig. 32. Aerogenerador al término de la instalación instalado en CECADE, modelo tripala

Este aerogenerador cuenta con su sistema pozo a tierra, ubicada en el área que rodean los templadores.

4.3.5 Caracterización del aerogenerador.

4.3.5.1 Procedimiento

Ubicar el anemómetro lo más cerca posible del aerogenerador sin obstruir su buen funcionamiento de ella.

Asegurarse que el giro del rotor del aerogenerador sea constante para una cierta velocidad.

Tomar datos de corriente (A), voltaje (V) (en el convertidor salida monofásico de CC) y velocidad (m/s) teniendo en cuenta que la velocidad de giro del rotor sea constante en instantes de forma creciente.

Determinar la potencia obtenida ($I \cdot V$) y graficar la potencia (W) vs. velocidad de viento (m/s)

4.3.5.2 Instrumentos de medición

1. 01 Anemómetro analógico con alcance de indicación de 0 m/s a 35 m/s, división de escala: 1 m/s (se subdividió la división de escala en 4 partes iguales para una mejor aproximación de los resultados).
2. 02 Multímetros marca DIGITAL modelo YF-3220, resolución de 0,01 / 0,1 para medir corriente (A) y voltaje (V).

4.3.5.3 Datos experimentales

Voltaje (V)	Corriente (A)	Velocidad viento (m/s)
10.64	0.72	4.00
11.20	1.27	4.25
12.60	1.85	4.50
14.21	2.56	5.00
15.41	3.11	5.50
16.01	3.81	6.00
16.63	4.06	6.50
17.56	4.32	7.00
17.80	4.68	7.25
18.03	5.12	7.50
18.78	5.83	8.00
19.73	6.45	8.50
20.06	7.85	9.00

Tabla 3. Datos experimentales de corriente, voltaje y velocidad del aerogenerador tomados de 11 AM a 4 PM

4.3.6 Cálculos y resultados

Potencia (W)	7.7	14.2	23.3	36.4	47.9	61.0	67.5	75.9	83.3	92.3	109.5	127.3	157.5
Velocidad (m/s)	4.00	4.25	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.25	7.50	8.00	8.50	9.00

Tabla 4. Muestra la potencia eléctrica obtenida (W) en relación a la velocidad de viento (m/s).

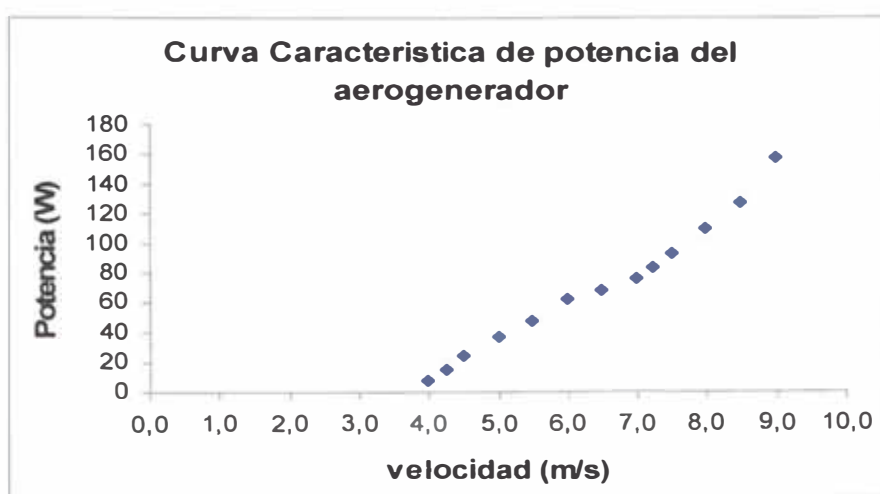


Fig. 33. Curva característica de la potencia eléctrica (W) Vs. Velocidad de viento (m/s) del aerogenerador, la cual muestra una tendencia de aumento de la potencia con la velocidad del viento. Velocidad máxima de viento reportada en CECADE alrededor de 9 m/s

4.3.7 Ventajas y Desventajas

Ventajas

La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura y puesta a punto.

Desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio, exento de problemas de contaminación.

- La energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial, se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable

Desventajas

Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral).

- Un impacto negativo es el ruido producido por el giro del rotor, pero su efecto no es más ruidoso que el generado por una instalación de tipo industrial de similar entidad.

Hay que tener cuidado si en las inmediaciones habitan aves, porque pueden impactar contra las palas del rotor.

V. ENERGÍA HIDRÁULICA

La energía hidráulica es la fuente de energía solar mas ampliamente utilizada. En este caso el papel del astro es indirecto, actuando sobre el ciclo hidrológico. Dicho ciclo comienza cuando el sol calienta el agua de los mares, ríos y lagos, produciendo su evaporación. A continuación el agua evaporada es transportada a diferentes puntos de la tierra por los vientos formando las nubes. Debido al enfriamiento de estas, el agua cae a la superficie en forma de lluvia y nieve, depositándose de nuevo en los ríos, lagos y mares. Parte de agua precipitada, e incluso parte de la contenida en los ríos y lagos, se filtra a través de la tierra desembocando en el mar, o formando manantiales, o alimentando de nuevo ríos y lagos a través de su lecho, o saliendo a la superficie por transpiración. A partir de este momento, el ciclo hidrológico puede comenzar de nuevo.

La energía hidráulica aprovecha la energía potencial que aparece en algunos puntos del ciclo evaporación-condensación del agua. Además de una energía potencial, una corriente de agua también posee cierta energía cinética, pero no tiene un valor suficientemente considerable como para ser aprovechada.

La potencia que puede desarrollar una masa de agua es directamente proporcional al producto de la aceleración de la gravedad, el caudal de agua y la altura de caída^[11] Esto pone de relieve que se pueden aprovechar desde pequeños desniveles por los que circula un gran caudal como grandes desniveles por los que circula un pequeño caudal.

Para instalar un sistema de aprovechamiento hidráulico se deben valorar un par de parámetros fundamentales: el **caudal** disponible y el **desnivel** que se puede alcanzar, así evaluaremos el potencial extraíble.

[11]. Energías Renovables, Mario Ortega Rodríguez, 1ra edición 1999 editorial Paraninfo. España., Pág. 181 -183

Las **conducciones** sirven para transportar el agua desde la corriente hasta el sistema captador y pueden circular en régimen a presión (conducción cerrada) o en régimen de gravedad (conducción abierta). Estas conducciones están diseñadas para evitar, en lo posible, las pérdidas por fricción e incorporan sistemas para regular el caudal de paso. En cualquier caso, lo que se pretende es que el agua llegue con la máxima energía hasta el sistema captador para que el rendimiento sea máximo.

Para escoger el dispositivo captador de energía se deben evaluar los siguientes parámetros: caudal, desnivel, localización, condiciones del suelo, longitud de las conducciones, condiciones del agua, generación de energía, costes y mano de obra, materiales disponibles y mantenimiento. No obstante, los dispositivos captadores más utilizados son las turbinas. Existen varios modelos, como las turbinas Pelton, Michell, Kaplan o Francis ^[12], la mayoría de ellas disponen de una rueda de gran resistencia mecánica con un anillo saliente en su periferia, alrededor de éste una serie de cucharas fuertemente sujetas para soportar el chorro de agua y perfectamente pulidas y calculadas para que aprovechen lo mejor posible la energía del agua que choca contra ellas.

5.1 Microcentrales hidroeléctricas.

Una central hidroeléctrica es una instalación en la que se consigue transformar la energía potencial que tiene el agua, en el curso del río en energía eléctrica.

La transformación no es directa, sino que aquella se convierte primero en energía mecánica en el eje de la turbina hidráulica, la cual acciona un generador eléctrico que la transforma en energía eléctrica. Estas instalaciones incluyen, además de las maquinas mencionadas, tuberías, canales, presas y dispositivos de toma de agua y de restitución de esta a su cauce de nuevo.

[12] Picotubinas pelton. Programa de energía, infraestructura y servicios básicos ITDG. Agosto 2004 - Lima

Las micro centrales hidroeléctricas se pueden clasificar según las condiciones del emplazamiento, tal como se vera a continuación.^[13]

5.1.1 Central de agua fluyente o de canal de derivación

En este tipo de instalación, parte del agua del río se desvía de cauce por medio de canales o conductos construidos al efecto, conduciéndola a la central para ser turbinada y siendo devuelta al río en otro punto aguas debajo de la toma.

5.1.2 Central de embalse o de regulación.

En este tipo de instalación se construye una presa en el cauce del río, formando un embalse en el que se almacena el agua procedente de las lluvias y del deshielo. El agua que va a ser turbinada se toma del embalse a través de la toma que suelen estar localizada en la propia presa, y a una determinada altura por debajo del nivel máximo del embalse.

5.1.3 Centrales de canal de abastecimiento.

Las canalizaciones de conducción de agua para riego o para consumo humano pueden aprovecharse para colocar en paralelo una tubería forzada y turbinar el agua devolviéndola de nuevo al canal en un tramo de menor cota o a otro cauce fluvial, utilizándose, en este ultimo caso, solo los excedentes de consumo.

[13]. Energías Renovables. Mario Ortega Rodríguez, 1ra edición 1999 editorial Paraninfo. España., Pág. 183 -184

5.2 La energía de un salto de agua.

La energía contenida en una masa de agua es la debida a su velocidad y a la altura que se encuentre, por tanto es energía cinética más energía potencial. La máxima energía teórica que podemos extraer de un salto de agua se corresponde con la energía potencial debida a la altura del salto:

$$E = m \cdot g \cdot H, \quad (27)$$

$$E = \rho_{H_2O} \cdot V \cdot g \cdot H, \quad (28)$$

donde:

m , es la masa en Kg.

g , la aceleración de la gravedad: 9.8 m/s

H , es la altura neta del salto en metros

ρ_{H_2O} , la densidad del agua que se considera 1000 Kg. /m³

V , volumen del agua en m³

Si la potencia es el trabajo desarrollado en un tiempo t , tenemos que la potencia extraible de un salto de agua será:

$$P = 1000 (V/t) \cdot 9.8 \cdot H, \quad (29)$$

$$P = 9800 \cdot Q \cdot H \quad (30)$$

En la que Q es el caudal de agua que pasa por la turbina en m³/s y la potencia P queda expresada en W .

Si expresamos la potencia en kW, y teniendo en cuenta la eficiencia de la turbina η_t , la eficiencia del generador de corriente η_g , la del transformador de salida para adecuar la

corriente a la red η_T , y la eficiencia mecánica η_m , del multiplicador de revoluciones si la hubiese, la expresión anterior nos queda:

$$P = 9.8 \cdot Q \cdot H \cdot e \quad (31)$$

El valor de $e = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_T \cdot \eta_m$, para una pequeña central hidroeléctrica puede tomarse como 0.85 a efectos de una primera estimación de la potencia disponible.

Hace más de 100 años que se empezó a utilizar la energía del agua para generar electricidad.

5.3 PICOTURBINA

La denominación de picocentrales hidroeléctricas y consecuentemente de picoturbinas, apenas tiene una década. Por ello, ha surgido una división adicional a los rangos ya existentes de las centrales hidroeléctricas, estableciendo el rango de picocentrales, cuya potencia esta por debajo de los 10 kW. Sin embargo aun no se ha incluido las normas internacionales respectivas, por tanto, consideramos como picoturbinas aquellas por debajo de 10 kW.

Las picoturbinas son diseñadas para aprovechar los recursos hidráulicos existentes en quebradas muy pequeñas, en manantiales u otra fuente donde existes algunos litros de agua y alguna pequeña caída que pueda transformar la energía mecánica o eléctrica según sea la demanda particular. En la actualidad las picoturbinas se diseñan como pequeños bloques compactos, donde en una sola unidad se incluyen todos sus componentes. Sus características principales son su pequeño tamaño, su versatilidad y facilidad para el transporte e instalación^[14]

[14]. Picoturbinas pelton. Programa de energía, infraestructura y servicios básicos ITDG. Agosto 2004 - Lima

5.3.1 Principales componentes. ^[15]

5.3.1.1 Rodete.

El material utilizado para esta pieza(o componente) es preferentemente acero inoxidable fundido en una sola pieza. Sin embargo se puede considerar utilizar otros materiales dependiendo de los requerimientos y aplicaciones del equipo, como es el caso del bronce y aleaciones.



Fig. 34 Rodete de 18 dientes de acero inoxidable instalado en CECADE, fabricado por ITDG (Fuente: www.itdg.org.pe-soluciones practicas/picoturbinas)

5.3.1.2 Eje

Los diseños de estos modelos son fabricados con el eje en posición horizontal, para las facilidades de fabricación y por la mejor disposición que presenta para el accionamiento mecánico.

5.3.1.3 Inyectores

Por simplicidad de fabricación y mantenimiento, estos modelos utilizan inyectores abiertos, los cuales se fijan a la carcasa mediante pernos pasantes. Los inyectores son elementos cónicos ensamblados al final de los ramales del tubo distribuidor, fabricados por fundición con un diseño y acabado que permiten el mínimo de pérdidas

5.3.1.4 Sellos sin contacto

La tecnología de los sellos sin contacto es un sistema novedoso en el campo de las turbinas de acción, incorporado por el equipo de ITDG. Consiste en el uso de pequeñas placas giratorias montadas en el eje de la turbina (junto a la pared interior de la carcasa) que evita que el agua

fugue hacia el exterior. La principal ventaja de este sello es que no tiene desgaste y, por tanto, no necesita cambios durante la vida de la maquina, son elementos sencillos de fabricar, de bajo costo y fácil instalación.



Fig.35. Sello sin contacto evita que el agua fugue al exterior
Fabricación peruana hecha por ITDG,
(Fuente: www.ltdg.org.pe-soluciones practicas/picoturbinas)

5.3.1.5 Carcasa.

Generalmente la carcasa es fabricada en base a planchas de acero de una calidad estructural SAE 1020 de 6 mm de espesor, cortadas y soldadas a tope, utilizando electrodos 6011 para las uniones y electrodos 6013 para los acabados.

Las planchas se adquieren según las especificaciones técnicas. El trazado y corte se hace según las indicaciones de la guía de fabricación, lo que permite uso eficiente del material, produciendo el mínimo desperdicio.



Fig.36 Carcasa de fabricación peruana realizada por ITDG, evita la salida del agua y los peligros que pueda causar al no tenerla
(Fuente: www.ltdg.org.pe-soluciones practicas/picoturbinas)

5.3.1.6 Tubo distribuidor.

Es el elemento de transición entre la tubería de presión y los inyectores. Consta de un tubo principal. Se fabrica de secciones de tubo de acero Schedule 40, los cuales se encuentran fácilmente en el mercado y aseguran altas presiones de trabajo. Cada ramal cuenta con una válvula de control del tipo compuerta, que permite manipular el ingreso del caudal.

5.3.1.7 Sistema de transmisión

Generalmente es difícil de conseguir que la velocidad de giro del rodete sea la misma que la del generador o del equipo a accionar, por ello se utiliza un sistema de transmisión a través de fajas y poleas.

En nuestro modelo el rodete va montado directamente en el generador reduciendo así el costo al no tener que usar sistema de transmisión.

5.4 INSTALACIÓN DE LA PICOTURBINA

La picoturbina instalada en CECADE es del tipo pelton adquirida de ITDG (soluciones prácticas), ver fig. 37, de las siguientes características técnicas.

Modelo: IT-PE-P110

Diámetro de rodete: 110 mm

Potencia máxima (W): 400 W trifásico con salida a 220 V AC.

Motor marca: Siemens Revoluciones: 1657 rpm



Fig.37. Picoturbina pelton instalada en CECADE modelo IT-PE-P110 fabricada por ITDG



Fig. 38. Lugar de ubicación de la picoturbina (al ingreso del agua hacia las pisigranjas)

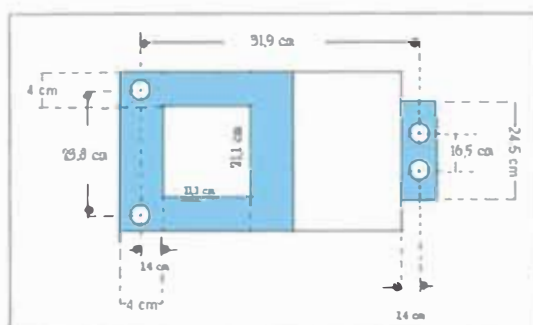


Fig. 39. Dimensiones de la base de cementación donde posara la picoturbina en el lugar de ubicación.

La picocentral hidroeléctrica es del tipo de centrales de agua fluyente. Porque parte del río se desvía de su cauce para poder canalizarlo a una central y luego es devuelta al río.

5.4.1 Esquema general del recorrido del agua.

El agua del río es canalizada mediante unas tuberías desde una altura de 30 m aproximadamente, realizando varias curvas en el tramo desde la toma de agua hasta la separación del tubo de 4" de diámetro dividiéndose en dos tuberías de 2", una de estas tuberías de 2" es llevada hacia la picoturbina, pasando por la válvula de purga (evitar aire en las tuberías) y por el manómetro que nos da la presión estática. Llegando el agua por la tubería de diámetro de 1/2" a la picoturbina. Tener en cuenta que la otra tubería de 2" se mantiene cerrada en el proceso.

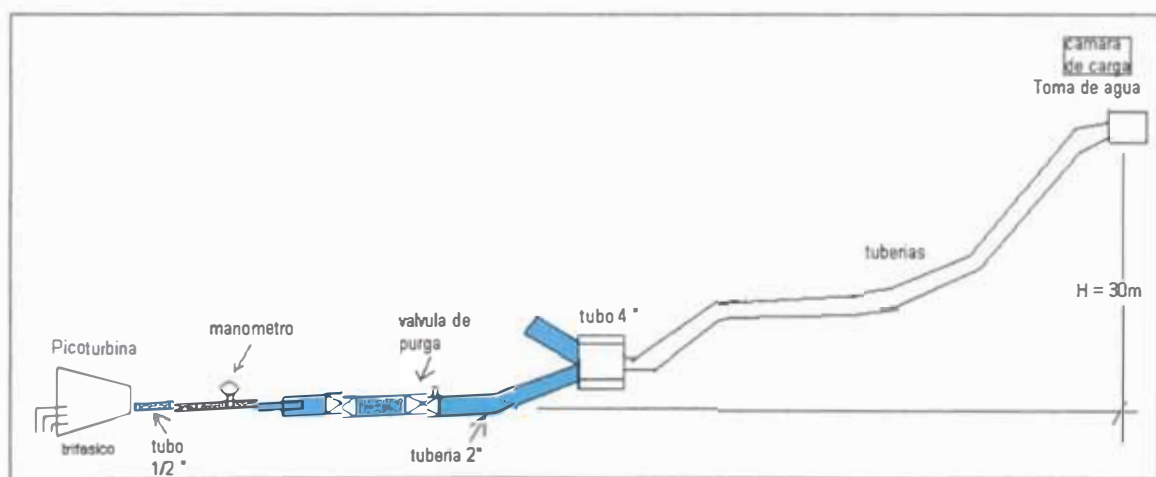
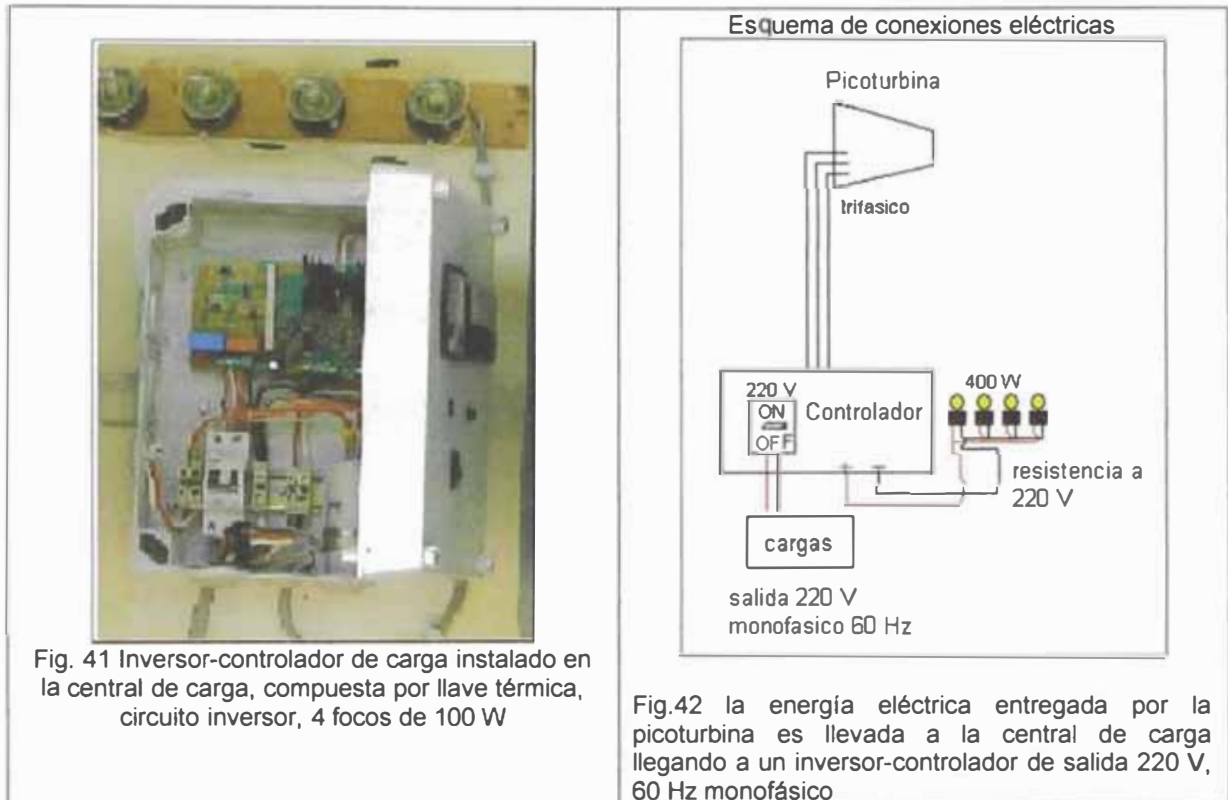


Fig. 40 Esquematización del recorrido del agua hasta el lugar de ubicación de la picoturbina.

5.4.2 Conexiones eléctricas.

La energía eléctrica entregada por la picoturbina en trifásica.



5.4.3 Picoturbina al término de la instalación



5.4.4 Datos experimentales.

Altura de caída: 30 m

Presión estática: 1,4 kg/cm²

Presión dinámica: 0,6 kg/cm²

Caudal del flujo del agua: 1,2 l/s. dicho caudal fue determinado con un balde de 20 l y un cronometro digital (se hicieron 5 repeticiones, obteniendo el promedio de ellas.)

5.4.5 Cálculos y resultados

Con los datos experimentales determinaremos la potencia que nos entrega la picoturbina.

$$Q = 0.0012 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 30 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Eficiencia mecánica/eléctrica} = 0.6$$

Utilizando la ecuación de (31) obtenemos:

$$P = 0.21 \text{ kW.}$$

5.4.6 Ventajas y Desventajas

Ventajas

- No necesitan combustible. Utilizan la fuerza del agua que es un recurso inagotable en la zona.
- No contamina el medio ambiente porque no emite gases ni humo en su funcionamiento.

Normalmente su trabajo es continuo las 24 horas del día.

Permite el funcionamiento de otros equipos y maquinas.

Desventaja

Largos periodos de construcción de canalizar el agua.

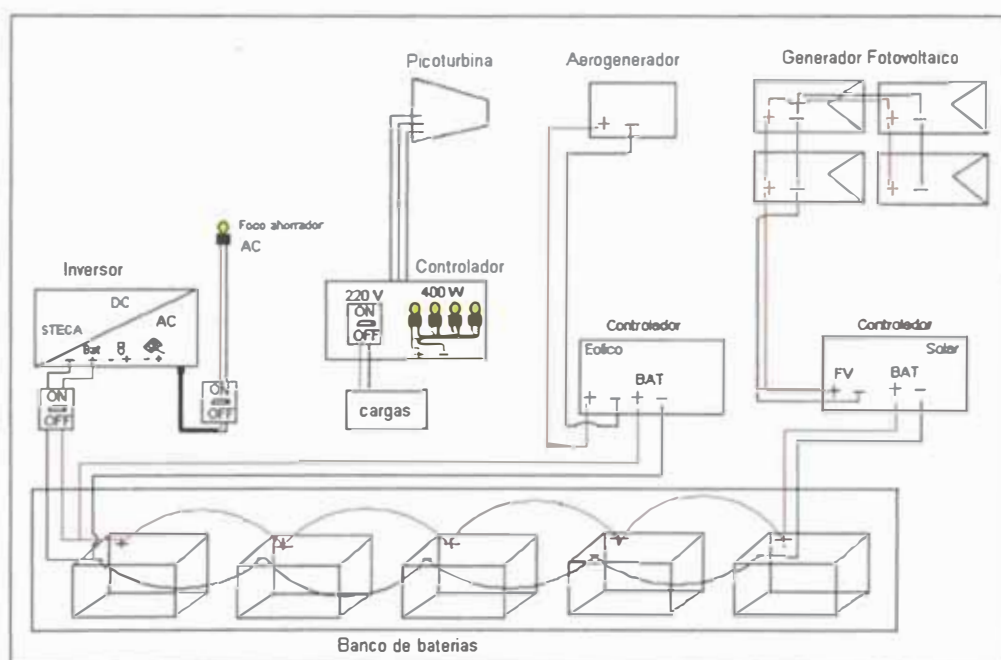
Elevado costo en la primera instalación.

Impactos aquo-ecosistema.

VI. CONCLUSIONES.

Como resultado del presente trabajo, CECADE cuenta ahora con un centro de demostración de las diferentes tecnologías de uso de energías renovables que pueden satisfacer diversas necesidades de energía eléctrica en el medio rural. Algunas características y resultados de las evaluaciones de los diferentes equipos están indicadas a continuación:

- Toda la energía eléctrica acumulada en la “central de carga” se emplea para la iluminación de CECADE mediante postes de focos de 15 W, 220 V, instalados alrededor del centro, así también para el sistema de bombeo de agua.



Central de carga

Potencia máxima obtenida del generador fotovoltaico es de 185 W a una radiación aproximadamente de 980 W/m^2 .

- Los aerogeneradores generan potencia a partir de una velocidad de viento de 4 m/s. generando así potencia desde unos 8 W hasta un máximo de 160 W aproximadamente a una velocidad de 9 m/s.

Los vientos en Yaurisque no son constantes en tiempos prolongados, y eso hace que los aerogeneradores trabajen poco.

La potencia que genera la picoturbina es de 0.21 kW.

Potencia máxima del poste solar autónomo es de 64.8 W a una radiación de 976 w/m^2 .

La energía almacenada en la batería del poste solar autónomo nos mantiene encendida dos luminarias de 15 W de CC desde 7:00 PM a 4:00 AM del día siguiente.

- CECADE se compromete a capacitar y hacer conocer a los pobladores de las comunidades y personas interesadas en el empleo de las energías renovables para satisfacer sus necesidades energéticas, incluyendo invernaderos, cocinas solares, termas solares y cocinas mejoradas de leña.

Las energías renovables como la solar, la eólica y la hidráulica, en pequeña escala son opciones que han demostrado ser apropiadas para las condiciones de las poblaciones rurales.

El costo aproximado de toda la infraestructura metálica, cables, focos entre otros es de S/. 2500.00 soles.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Electricidad Solar .Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos, E. Lorenzo y otros del instituto de energía solar –universidad politécnica de España, primera edición, 1994, Editorial Artes Graficas Gala, S.L. Sevilla España.
- [2] Energías Renovables, Mario Ortega Rodríguez, 1ra edición 1999 editorial Paraninfo. España.
- [3] Energía Eólica Práctica, Paul Gipe, primera edición en lengua española, noviembre 2000. Progensa, Sevilla - España.
- [4] Renewable Energy Course (Trainre) Win Energy, by J.W.M. Dekker, J.T.G. Pierik, L.W.M.M. Rademakers. University Oldenburg, second version, December 1996.European Commission.
- [5] Microcentrales Hidroeléctricas: una alternativa para el desarrollo rural/ITDG programa de estructura y servicios básicos ITDG 2004. Lima - Perú.
- [6] X Simposio Peruano de Energía Solar, Cusco del 17 al 22 de noviembre de 2003. Edición diciembre 2004 Lima-Perú.
- [7] Energía Hidráulica. M. Castro Gil (Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, ETSII-UNED). Primera edición, septiembre, 1997. España
- [8] Picotubinas pelton. Programa de energía, infraestructura y servicios básicos ITDG. Agosto 2004 – Lima.
- [9] Centro de Demostración y Capacitación y en Energías Renovables (CEDECAP) – ITDG (soluciones prácticas), Año 2005 localizado en Cajamarca
- [9] Manuales de los equipos usados en la instalación de la central de carga contactarse con el correo. reateguimiguel@hotmail.com

PÁGINAS WEB

www.censolar.com
www.itdg.org.pe/publicaciones
www.itdg.org.pe/cajamarca