

ARTÍCULO ORIGINAL

Propuesta de alternativas energéticas para la electrificación de la comunidad rural La Majagua, Los Palacios, Pinar del Río

Proposal of the energy potentials in "La Majagua", a rural community to electrify

Ana Isabel Ramírez Delgado ¹, Julio Rivero González ², Luis Manuel García Rojas ³, José Rubén Leal Fernández ⁴, Pedro Luis Días Navarro⁵

Empresa de Aprovechamiento Hidráulico. Km 2 ½ Carretera a Luis Lazo, Pinar del Río, Cuba. Teléfono: +53 (48) 774862

¹ Ingeniero Hidráulico. Profesora Asistente. Correo electrónico: anychu@eah.pri.hidro.cu

Universidad de Pinar del Río. Facultad de Ciencias Técnicas. Departamento Mecánica. Martí 270 final, Pinar del Río, Cuba. Teléfono: +53 (48) 779656

² Ingeniero Mecánico y Master en Eficiencia Energética. Profesor Asistente Correo electrónico: juliorg@meca.upr.edu.cu

³ Ingeniero Mecánico, Master en Ciencias Forestales, Profesor Auxiliar Correo electrónico: luism@meca.upr.edu.cu

⁵ Ingeniero Mecánico. Profesor Instructor. Correo electrónico: pedrin@meca.upr.edu.cu

Empresa de Tiendas Recaudadora de Divisa Caribe. Calle 5ta final, Reparto Hermanos Cruz. Pinar del Río, Cuba. Teléfono: +53 (48) 765752.

⁴ Ingeniero en Telecomunicaciones. Correo electrónico: rubenleal@trdcaribe.co.cu

RESUMEN

Para definir la forma en que se electrificará una comunidad rural, la valoración del uso de las fuentes renovables de energía y su impacto, se ha convertido en un aspecto fundamental en las últimas décadas. Esta investigación está basada en el análisis de las potencialidades energéticas que existen en "La Majagua", comunidad rural que no ha sido electrificada, para proponer alternativas energéticas para su electrificación, mediante la aplicación del modelo SURE para la toma de decisiones en proyectos de energización rural. Para esto fue necesario caracterizar la comunidad a partir de una encuesta predeterminada, identificando los criterios de la población sobre el uso de las potencialidades de fuentes energéticas locales, realizar el cálculo de la potencia necesaria estableciendo un módulo de equipos por casa, resultando 4,460 kWh/día de demanda para el módulo 1 con refrigerador, y de 1,26 kWh/día para el módulo 2 sin refrigerador. Del análisis se obtuvieron cuatro propuestas de electrificación: solar fotovoltaica con dos variantes de equipos individuales por vivienda, uno con 8 paneles (módulo 1) y otro con 2 paneles (módulo 2), ambos de 180 W; hidroenergía, con dos turbinas Mitchell Banki y una energía garantizada de 2,822 GWh/año; y conexión al Sistema Electroenergético Nacional; posibilitando brindar un beneficio a la comunidad, contribuyendo al desarrollo humano y social de sus pobladores.

Palabras clave: Comunidad rural, Electrificación, Alternativas energéticas.

ABSTRACT

In the last decades, the appreciation of the use renewable sources of energy and their effect, have become in a fundamental aspect to define the way in which a rural community can be electrified. This research is based on the analysis of the energy potentials in "La Majagua", a rural community, which has not been electrified; to propose energy alternatives for its electrification by means of the model SURE, which allows taking

decisions in rural energy projects. It was required to characterize the community using a survey, identifying the criteria of the population about the potential use of local energy sources, to carry out an estimation of the necessary power, establishing a module of equipments for each house, getting as result1, 4,460 kWh/day of demand for a module 1 with fridge, and 1,26 kWh/day for a module 2 without fridge. There were four proposals as result from the previous study: photovoltaic solar, with two individuals variants for each house, with 8 solar panels (module 1), and other with 2 solar panels (module 2), both of them with 180 W; hydro-energy, with two turbines Michell Banki, and a guarantee energy of 2,822 GWh/year, and a connection to the National Electronenergetic System (NES), providing a benefit to the mentioned community, contributing to the human and social development of the population.

Key Words: Rural community, Electrification, Energy alternatives.

INTRODUCCIÓN

Dada la gran importancia que se le concede al desarrollo social y agropecuario, se ha venido llevando un plan de electrificación en las zonas montañosas con el objetivo de frenar el éxodo de la población rural de estas zonas y extender los beneficios socioculturales que se logran con la misma, mejorando el nivel de vida de la población y crear simultáneamente las bases para el desarrollo de la producción agropecuaria en las zonas de montaña.

La generación de electricidad se basa aún en el uso intensivo de los combustibles fósiles, además se utiliza petróleo cubano, un combustible barato que ha permitido a la economía cubana reducir la importación de petróleo. El pronóstico para los próximos años es la producción de electricidad, mejorando las tecnologías que reduzcan los impactos medioambientales asociados a su uso.

Cuba cree firmemente que el desarrollo y la aplicación de las fuentes renovables de energía, son la clave para el futuro.

La decisión de electrificar una comunidad rural aislada como es el caso de "La Majagua", del municipio Los Palacios en la provincia de Pinar del Río, debe considerar aspectos

económicos, sociales (Terry, 2007), y medio ambientales del entorno donde está situada, garantizando la sustentabilidad del proyecto, para lo cual se realizará un análisis multicriterial con el objetivo de seleccionar las mejores alternativas para su electrificación (Olalde, 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó para esta investigación al poblado La Majagua perteneciente al municipio Los Palacios, provincia de Pinar del Río, por ser una comunidad rural que en su totalidad no cuenta con servicios eléctricos, dependiendo principalmente de la agricultura, donde funciona la unidad básica de producción cooperativa (CCS) Niceto Pérez.

La población de esta área no ha sido favorecida con los avances de la revolución energética en el país, a pesar que se encuentra aproximadamente a 3 km del SEN y de unidades militares electrificadas. En la entrevista realizada se pudo comprobar que las familias pertenecientes a la comunidad son pequeñas, de un recurso económico medio y solo practican la actividad agrícola, ubicados relativamente distantes unos de otros.

Descripción de la localidad.

Con el objetivo de obtener información acerca de la comunidad, se realizó una encuesta a un grupo de 20 personas, cada uno representando una vivienda.

De los resultados de la aplicación de la encuesta se determinó que:

- La población se compone de 29 viviendas en su mayoría viviendas aisladas, formando grupo solo cuatro de ellas, teniendo entre 3, 4 y 5 habitantes por casa, con un total de 115 habitantes, encontrándose a una distancia promedio una de otra mayor de 100 m, no existe un local de reunión, o esparcimiento para sus habitantes, utilizándose la vivienda del Delegado de la Circunscripción para las reuniones, tampoco cuentan con locales para la atención médica, teniendo que trasladarse por sus propios medios al pueblo más cercano, ya sea la capital del municipio o el asentamiento Paso Quemado o San Diego de los Baños.
- La totalidad de las familias entrevistadas carecen de electricidad.
- El 100% de los entrevistados utiliza leña para la cocción de alimentos y keroseno (luz brillante) para el alumbrado.

- Existe bajo nivel de escolaridad en la comunidad, así como un nivel inestable de ingresos.
- Todas las familias entrevistadas viven y trabajan en tierras pertenecientes a la CCS Niceto Pérez.
- La mayoría de las familias no cuentan con grandes crías de animales.
- Entre los cultivos que poseen se encuentran: tabaco, maíz, yuca, boniato, arroz, frijoles, etc.

En general el nivel de escolaridad es bajo. Existen casos sociales muy críticos, como dos ancianos en cama enfermos de cáncer y otros dos ciegos. La actividad principal es la agricultura, por lo cual el ingreso monetario es inestable ya que dependen del éxito de cada cosecha, pudiendo obtener préstamos mediante la cooperativa (CCS). Además dos de las viviendas tienen construidos biodigestores que no se encuentran operando pues los animales no tienen el tamaño adecuado y una de ellas posee celdas fotovoltaicas para su electrificación.

Los cálculos para la electrificación

Para las mejoras de las condiciones de vida se tiene en cuenta un módulo por casa, en la *tabla 1* se representan dos módulos o variantes a tener en cuenta para los cálculos:

Tabla 1: Demanda de potencia por equipos y consumo diario para una vivienda.

Equipo	Horas al día funcionando	Consumo (W) Módulo 1	Kwh/día Módulo 1	Consumo (W) Módulo 2	Kwh/día Módulo 2
Bombillo ahorrador	6	8 (5 bomb.)	0,240	8 (5 bomb.)	0,240
Refrigerador	16	200	3,200		
Ventilador	12	55 (2 ventild)	0,660	55 (2 ventild)	0,660
TV-19"	5	60	0,300	60	0,300
Radio	4	15	0,060	15	0,060
Total		425,0	4,460	225,0	1,26

Software SURE v1.6b.

Este software fue creado por el Colegio Imperial de Londres con la colaboración de la Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu" y tiene como objetivo estimular la promoción del uso de las energías renovables para asegurar un mejoramiento del nivel de vida en comunidades rurales. Ha sido seleccionado por ser una herramienta que toma en cuenta criterios humanos, físicos, financieros, naturales y sociales (Olade, 2003). Además que la Universidad de Pinar del Río como otras del país se han visto relacionadas con la

aplicación de este programa informático a lo largo de todo el país. Se ha aplicado en el territorio nacional en: las comunidades de: "Los Guallos" en Las Tunas, "Los Indios" en Holguín, "Pozo Blanco" en Santi Spiritus, "Las Peladas" en Granma y en "Los Tumbos" en la provincia de Pinar del Río, entre otras zonas rurales (Ochoa, 2009).

Fotovoltaica.

Para los cálculos de la cantidad de paneles, de baterías así como para la selección del inversor y del regulador se tiene en cuenta la metodología de *Energía Hidráulica*

A partir de esto y tomando en consideración fundamentalmente el volumen de entrega garantizada se decide tomar como gasto de diseño: 4,0 m³/s.

Se halla la carga de cálculo Hc:

$$Hc = \text{Cota NAN} - \text{cota fondo}$$

Donde:

Cota NAN: 75,00 m, cota del nivel de aguas normales de la presa, la cual es un dato de proyecto.

Cota fondo: 56,80 m, cota de la parte superior de la tubería, siendo también un dato de proyecto.

De esta forma se obtiene:

$$Hc = 18,20 \text{ m}$$

Esta altura se aproxima a 18 m teniendo en cuenta que la presa se ha azolvado en todos estos años de explotación.

Para un gasto de 4,0 m³/s, una carga de cálculo de 18 m y usando los criterios válidos de selección de turbina, por lo que con el empleo de la *figura 1* se puede seleccionar una turbina de la marca MichellBanki.

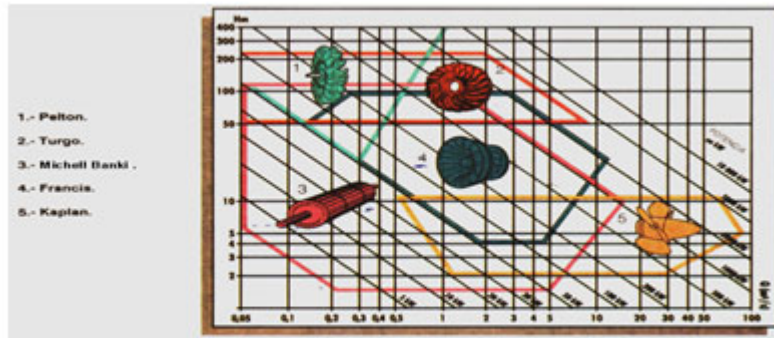


Figura 1: Comportamientos de diferentes marcas de turbinas.

Como considera utilizar una turbina Michell Banki, dentro de dicha marca se selecciona:

Tipo de turbina: MB-501

Gasto de una turbina: 1,0 m³/s

Número de turbinas: 4

Carga de cálculo: 18,0 m

Velocidad de rotación: 340 rpm

Diámetro del rodete: 500 mm

Cada turbina trabaja con 1m³

Como se puede observar la velocidad de rotación de la turbina es relativamente baja por lo que será necesario colocar un multiplicador para equiparar debidamente la del generador por lo que la eficiencia del sistema será:

$$\eta = \eta_t * \eta_g * \eta_T$$

donde:

η_t : eficiencia turbina MB: 0,8

η_g : eficiencia generador: 0,95

η_T : eficiencia transmisión: 0,95

Obteniéndose:

$$\eta = 0,72$$

La potencia a instalar será:

$$P = g * Q * Hc * \eta$$

Siendo:

g: valor de la gravedad (9,81m²/s)

Q: gasto de diseño (4 m³/s)

Hc: Carga de cálculo

η : eficiencia sistema

Resultando:

$$P = 508 \text{ kW.}$$

El cálculo de la energía firme generada se realizó mediante la ecuación siguiente:

$$E = P * t$$

Donde:

E: energía firme

P: potencia a instalar

T: tiempo (se tomará un período de un año)

Obteniendo:

$$E = 2,4 \text{ GWh/año}$$

Para el cálculo de la energía máxima generada se siguió el criterio de metodologías hidroenergéticas de las aguas vertidas dando como resultado una generación máxima posible de 3,4 GWh/año.

Construcción civil.

La obra civil está compuesta por una casa de máquinas con dimensiones de 8,0 x 16,5 m en planta y una altura de 3,0 m, con paredes que pueden ser de bloques de hormigón o ladrillos aligerados sin columnas y con un cerramiento en la parte superior de las paredes, la cubierta se prevé con canalones de fibrocemento. La casa se levanta sobre un suelo duro con posibilidad de un estado semirocoso teniendo como cimentación un cimiento corrido ligeramente armado.

Esta instalación se consideró algo alejada de la salida de la toma de agua por existir aquí un relieve en roca sumamente difícil y poder ganar en todo lo posible, en carga hidráulica, para lo cual se necesita una longitud de tubería de acero $\Phi = 1\ 200$ mm de unos 150,0 m de longitud. Se prevé la construcción de un baño con dimensiones de 1,5 x 2,0 m.

La tubería de presión se prevé acoplarla a una salida existente en esta obra hacia el lateral derecho que tenía como objetivo, de principio, entregar el agua a un canal de riego con cotas más altas destinadas al riego de viandas, pero el mismo no fue ejecutado; la cota de esta salida es más alta que la salida de la galería pero como es inferior al nivel de aguas muertas del embalse y la casa de máquinas se colocará en cotas bajas no se pierde ni carga ni volumen de agua a turbinas, y solamente las pérdidas que introducen algunos cambios de dirección en la tubería. Esta tubería será de diámetro 1 200 mm, y tiene una longitud desde su acople hasta la casa de máquinas de 150,0 m sin incluir la tubería de diámetro 1 700 mm que se encuentra colocada dentro de la galería y cuya longitud es de 55,0 m aproximadamente.

A todo lo largo de la tubería de diámetro 1 200 mm se colocarán apoyos de hormigón poco armado espaciados aproximadamente a 15,0 m. Se realizaron los diseños de la ubicación de las turbinas, las tuberías y la casa de máquinas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados obtenidos del empleo del software SURE para realizar la comparación de la alternativa energética a través del análisis multicriterial.

Inicialmente se consideraron tres alternativas para el aprovechamiento de energías renovables, la energía hidráulica, la energía solar fotovoltaica, la solar térmica y como otra opción la conexión al SEN.

A partir de considerar los criterios de los expertos e introducir los datos al software, basados en la encuesta y los análisis de las potencialidades energéticas locales, se obtuvo lo siguiente:

Después del análisis se descartó la solar térmica porque sería una alternativa costosa para una comunidad aislada, encareciendo el proyecto de electrificación y no se tuvo en cuenta para solo calentar agua porque el objetivo es la electrificación de la comunidad. Con estas consideraciones quedaron tres alternativas para el análisis: la energía hidráulica, la solar fotovoltaica (dos módulos) y conexión al SEN.

Como resultado del trabajo con el software se obtiene que el ordenamiento de las alternativas queda así: la solar fotovoltaica (dos módulos), la energía hidráulica y conexión al SEN.

Resultados de los cálculos de la energía fotovoltaica.

Después de aplicar la metodología se tiene que:

- La energía total que deben brindar los paneles para el módulo 1 es de 6 154,8 Wh/día y para el módulo 2 es de 1 738,8 Wh/día. Para ello se hace necesario ocho paneles de 180 W para el módulo 1 y dos de la misma potencia para el dos.
- El regulador que se propone para el módulo 1 será de 12 V y 80 A, teniendo en cuenta la entrada y la salida como se explicó en el acápite 2.3, considerando la máxima corriente que salga de los módulos que en este caso es de 80 A. Para el módulo 2 se propone un regulador de 12 V y 20 A.
- El inversor para el módulo 1 es de 425,0 W, por lo que se selecciona un inversor de 12 V y 500 W, y para el módulo 2 la demanda máxima de potencia es de: 225 W, por lo que se selecciona un inversor de 12 V y 300 W.
- En las baterías para el módulo 1, el total de energía que deben entregar las baterías es de 18 464,4 Wh/día y para el módulo 2 es de 5 216,4 Wh/día. La energía almacenada un valor de 36 928,8Wh para el módulo 1, y para el 2 es de 10 432,8 Wh. Para el módulo 1 la capacidad de carga, considerando que se trabajará con 12 V, es de 3 077,4 Ah, siendo necesario colocar 16 baterías de 200 A, para el módulo 2, la capacidad de carga es de: 869,4 Ah, siendo necesario colocar 6 baterías de 200 A.

Resultados de los cálculos de la hidroenergía.

Para la selección del tipo de turbinas se utilizó la *figura 1*, a partir de definir el gasto y la carga de diseño se observa la posibilidad de instalar dos máquinas del tipo Michell Banki (MB) o 2 del tipo Francis, de estas se optó por la primera, teniendo en cuenta el gasto a turbinar, las características principales y el costo de ambas, que para las Francis es mayor.

Parte mecánica.

La parte mecánica de la instalación se detalla a continuación, y estará compuesta por:

1. Tubería de presión. La PCHE Los Palacios alimentará sus máquinas de una tubería en forma de cuello de ganso de \varnothing 1 200 mm, existente desde la conclusión de la obra, de ahí y paralelo al primer tramo del canal de salida se tiende una tubería de \varnothing 1 200 mm de acero de 140 m de longitud y 10 mm de espesor hasta llegar a la casa de máquinas.

2. Turbinas. Las turbinas se han seleccionado de acuerdo a un análisis técnico económico según sus gráficos y regulaciones, tomando en consideración las posibilidades que ofrece la presa para la producción de energía siempre incluyendo en el análisis su subordinación al riego. Por ser esta una turbina de doble acción, la energía remanente se pierde totalmente por lo que no ocurrirá el efecto de la cavitación en ningún momento de operación de la misma.

a) Diámetro de entrada: \varnothing 500 mm.

b) Diámetro del rodete: \varnothing 600 mm.

c) Potencia: 360 kW.

d) Velocidad media: 246 rpm.

3. Válvulas. En toda la instalación se conectarán solo dos válvulas de \varnothing 500 mm preferiblemente para regulación. En el caso de la tubería de \varnothing 1 200 mm no se protegerá con válvulas, ya que en caso de avería en alguno de los 140 m se procede a abrir su válvula de cono después de haber tirado al flujo la compuerta de emergencia.

a) Diámetro nominal: \varnothing 500 mm

b) Tipo: Esférica o similar para regular gasto.

c) Resistencia: Sobre los 31 mca.

d) De platillo.

e) Preferiblemente de bajo mantenimiento.

f) Su accionamiento ha de ser electrohidráulico o electromecánico (con reductor) y además manual.

4. Reductores o multiplicadores. Se utilizará un multiplicador de revoluciones al considerar que la velocidad media de la máquina es muy inferior a la velocidad del generador por lo que se recomienda un multiplicador de 1,5, que de 246 rpm, así la máquina dará en la salida del árbol secundario del multiplicador alrededor de 350 rpm que coincide con el alternador propuesto.

5. Equipos de izaje. El izaje se garantiza con una grúa puente semejante a las grúas usuales instaladas en talleres, esta grúa debe tener una capacidad de aproximadamente 10 t.

6. Montaje. El montaje se efectuará por el personal calificado necesario conforme a las normas establecidas por el usuario, siempre observando las exigencias presentadas por el suministrador en franca observancia de las cartas tecnológicas de los equipos.

7. Mantenimiento. El mantenimiento se prevé que se efectúe con el personal calificado en presencia de los operadores y es de carácter obligatorio, según sea el ciclo establecido por las partes interesadas, todo ello independientemente de las posibles averías que se puedan presentar durante el trabajo. Se debe ser exigente con los materiales a emplear en el mantenimiento (aceites, grasas, pinturas, etc.) que se seleccionen siempre acorde con las exigencias del fabricante.

8. Explotación. La explotación es completamente automática, según propuesta y de acuerdo al grado de automatización, por lo que se recomienda el paso de la estación al servicio doméstico una vez pasado el período de puesta en marcha.

A. Parte eléctrica. La parte eléctrica de la instalación se detalla a continuación, y estará compuesta por:

a. Generador, tipo y parámetros. Se han seleccionado 2 generadores trifásicos de la producción china semejante al checo, de ejecución tropical cuyas características son las siguientes:

i. Generador \varnothing 3.

ii. Potencia total nominal 360 kW

iii. Potencia activa nominal 320 kW

iv. Frecuencia Nominal 60 Hz

v. Peso total 9,0 t

vi. Velocidad de rotación 350 rpm y diseñados para su trabajo a régimen continuo.

b. Selección del transformador. En la PCHE Los Palacios se prevé la colocación de un transformador elevador de características:

i. Doble devanado.

ii. 3 fases

iii. Potencia nominal 650 kVA.

iv. Relación de transformación $14/6,3 \pm 5 \%$ kV.

v. Frecuencia nominal 60 Hz.

vi. Peso aproximado 3 t.

vii. El transformador es en aceite; completamente tropical, izado y diseñado para trabajar a la intemperie y su enfriamiento es por aire.

c. Selección de la tensión a utilizar. Para el análisis de las tensiones se tuvo en cuenta, en primer lugar, la tecnología que actualmente se suministra en el mundo (generadores) además de un somero análisis de los conductores de baja. Para el caso de la baja tensión del transformador se seleccionó 6,3 kV.

En el caso de la tensión de alta será de 13,8 kV para aprovechar la línea existente que entrega a 13,8 kV. Este análisis corresponde con datos facilitados por la Empresa Eléctrica.

d. Alumbrado de emergencia. El alumbrado de emergencia se ejecutará con lámparas incandescentes de 60÷80 W colocadas en luminarias circulares de alumbrado industrial. Estas lámparas se alimentarán de una pizarra de emergencia de 110 V. En este caso se propone el uso de un sistema de convertidores que garanticen además del alumbrado

parcial del local, el alumbrado de los tableros de mando y determinados locales de la estación.

e. Comunicación. Se prevé la instalación de plantas radio-escuchas en frecuencia con el despacho de carga correspondiente y con la UEB Los Palacios.

f. Conexión al S.E.N. La PCHE Los Palacios entregará su potencia al S.E.N. mediante una línea de 13,8 kV conectada a la sub estación "Entronque de Los Palacios" para lo cual será necesario construir 2 km de línea y reconstruir 3 km con conductor AC-35 en ambos casos.

B. Parte constructiva. Este conjunto hidráulico está construido desde principios de los años 70 y la toma de agua consta de canal de entrada, pequeña toma para rejillas, tramo de galería a presión, torre para compuertas, tramo de galería con un tubo metálico de \varnothing 1 700 mm y una cámara seca en forma de torre donde sale hacia la derecha un tubo metálico de \varnothing 1 200 mm en forma de cuello de ganso, con un objetivo inicial de utilizar las aguas a través de un canal en el riego del plan viandas Los Palacios, a la salida se encuentra una válvula de cono de \varnothing 1 200 mm para la explotación de la obra. Esta tubería es ampliamente suficiente para conducir el gasto de cálculo con velocidades relativamente pequeñas.

El canal de salida de esta toma es de roca con taludes casi verticales y una profundidad de consideración, lo cual dificulta grandemente ejecutar una casa de máquinas en esos niveles por lo que se considera técnicamente colocar la casa a la derecha del canal y aguas abajo, a una distancia de 140 m instalando la tubería de presión del tubo cuello de ganso, que aunque tiene cota alta dicha salida, la misma es inferior que el nivel muerto del embalse.

Esta casa se levantará sobre un suelo con posibilidad de un estado semirrocoso, teniendo como base un cimiento corrido armado. La misma se colocará lo más cerca posible de la salida de la toma, evitando longitudes de tuberías de consideración; la casa de máquinas cuenta además de cuarto de baterías, con almacén y baño, lo que se puede apreciar en el anexo 8.

La tubería de presión posee una longitud de 140 m y \varnothing 1 200 mm, esto se debe a que colocando una sola tubería de \varnothing 1 200 mm, esta no producirá velocidades altas, lo cual es favorable, pues no se considera la necesidad de ejecutar chimeneas de equilibrio.

El lugar y cota de emplazamiento de la casa de máquinas tuvo en cuenta los gastos de explotación. El camino de acceso es el mismo que va inicialmente a la toma de agua, pero con un desvío hacia la derecha que será necesario ejecutar sin ninguna complicación.

Impactos económicos.

Cuando se lleva a cabo un proyecto, se busca satisfacer algún objetivo, que en algunos casos es de tipo económico y en otros de tipo social, o como en este caso, que se persiguen ambos. Sin embargo en ocasiones la factibilidad económica suele ser definitoria en cuanto a la decisión de ejecución. Es por esta razón que económicamente quedan ordenados de la siguiente manera:

- En el caso de la energía fotovoltaica el monto total de la inversión de los módulos 1 y 2 sería de 279 152,44 y 80 016,84 CUC respectivamente, con un valor en moneda nacional de 127 018,60 CUP y de 40 107,60 CUP, respectivamente.
- Para la conexión al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), conociendo los costos de 1 km de conexión, para el caso estudio donde la distancia entre toda las casas y al SEN suman 8 km, por lo que el monto económico asciende a 112 000,00 CUC con 40 000,00 CUP
- Para utilizar la energía hidráulica se necesitan 1 305 479,00 CUC y 284 181,00 CUP.

Impactos medioambientales.

Se estima que por cada kWh generado en una las centrales termoeléctricas cubanas, se emiten a la atmósfera 715 g de gases de efecto invernadero. Esto significa que cuando se genera 1GWh de energía eléctrica, se emiten a la atmósfera 715 t de gases de efecto invernadero.

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación se plantea que al utilizar la alternativa hidroenergética se garantizan 2,822 GWh al año, sin necesidad de utilizar combustibles fósiles, lo que representa que se dejarán de emitir a la atmósfera unas 2 017,73 t de gases de efecto invernadero (Stolik, 2012).

CONCLUSIONES

Una vez realizada esta investigación, se arribó a las siguientes conclusiones:

- A partir del estudio en la comunidad La Majagua de las fuentes renovables de energía, se determinó que existe un potencial hidroenergético y solar como alternativas de electrificación.
- El consumo diario calculado para los módulos establecidos por vivienda resultó ser de 4,460 kWh/día para el módulo 1 que incluye un refrigerador, con una demanda total de potencia en la comunidad de 124,88 kWh/día, y para el módulo 2, la demanda diaria es de 1,26 kWh/día, que no incluye refrigerador, con una demanda total de potencia en la comunidad de 35,28 kWh/día.
- Por los resultados obtenidos a partir de la utilización de la herramienta informática SURE versión 1,6b se obtuvo el siguiente orden para las alternativas: solar fotovoltaica, hidroenergía y conexión al Sistema Electroenergético Nacional; y de los cálculos realizados por las metodologías mencionadas se obtuvo a partir de considerar los costos, el orden siguiente: solar fotovoltaica módulo 2, solar fotovoltaica módulo 1, conexión al Sistema Electroenergético Nacional, e hidroenergía, teniendo en cuenta que la inversión de la alternativa hidroenergética se recupera en menos de 10 años; posibilitando estas dos últimas, incorporar otras viviendas que se construyan en el futuro y aumentar la cantidad de equipos en el módulo propuesto.
- En el caso de las dos alternativas que utilizan fuentes renovables de energía para generar electricidad, no se emitirán a la atmósfera gases de efecto invernadero, tampoco se verá afectado el entorno. De utilizarse la alternativa hidroenergética se garantizaría una producción de 2,822 GWh al año, lo que representa que se dejarían de emitir a la atmósfera unas 2 017,73 t de gases de efecto invernadero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ochoa J. L. (2009). Criterios de evaluación y análisis de alternativas para el diseño de proyectos de electrificación rural con energía eólica y solar en países en desarrollo.

Olalde, R., González, T., Pérez, Y., Quintana, C. y Cherni, J. (2003). Impacto de la hidroenergía en el desarrollo económico sustentable de comunidades rurales aisladas. Aspectos esenciales del estudio de caso en una comunidad de Cuba. Consejos Técnicos e Información Medioambiental. Universidad Central de Las Villas. CETA. Cuba. Imperial College of London. DfID. UK. Colaboradores: CITMA. Cuba.

Stolik, N. Necesidad de un programa fotovoltaico para Cuba. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia53/articulo04N.htm>

Terry, J. (2007). Teoría y Práctica del Desarrollo Comunitario Rural Integrado. Revista OIDLES 1(2). Disponible en: <http://www.eumed/rev/oidles/02/Gregorio.htm>

Aceptado: julio 2013

Aprobado: noviembre 2013

Ing. Ana Isabel Ramírez Delgado. Profesora Asistente. Empresa de Aprovechamiento Hidráulico. Km 2 ½ Carretera a Luis Lazo, Pinar del Río, Cuba. Teléfono: +53 (48) 774862
Correo electrónico: anychu@eah.pri.hidro.cu