

Aprovechamiento de fuentes renovables de energía en la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda



Vicente Durán

2023. Autor:
VICENTE DURÁN MÁRQUEZ

Fondo Editorial UNEFM
Falcón – Venezuela

Decanato de Investigación UNEFM
Centro de Investigaciones Tecnológicas, Industriales y Pesqueras

Instituto de Cultura del Estado Falcón (INCUDEF)

Edición: Wilmara Borges
Portada: César Salas
Corrección de estilo: José Manuel Nava / Jesús Madriz
Revisión general: Ricardo Bitter Soto

HECHO DEPÓSITO DE LEY
Depósito legal: FA2023000011
ISBN: 978-980-245-129-6

Versión digital:
Fondo Editorial UNEFM
Derechos reservados



Dr. Freddy Rodríguez
Decano de Investigación UNEFM

Dr. Nohé G. Gilson Reaño
Director del Fondo Editorial UNEFM

COMITÉ ÁREA DE EDUCACIÓN:
Lic. Wilmara Borges (MSc.)
Dr. Jesús Madriz
Dr. José M. Nava
Lic. Yudyth Revilla (MSc.)



Universidad Nacional
Experimental
Francisco de Miranda
UNEFM



Incudef
INSTITUTO VENEZOLANO DEL LIBRO Y DE LA EDUCACIÓN

APROVECHAMIENTO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL “FRANCISCO DE MIRANDA”

VICENTE DURÁN MÁRQUEZ

ÍNDICE

	Pág.
Presentación.....	8
Introducción.....	9
I. Proyectos, prototipos y sistemas desarrollados.....	15
Suministro de electricidad a través de aerogeneradores de baja potencia y generadores híbridos (eólico – solares).....	17
Generador híbrido eólico – solar fotovoltaico de 1,5 kw de potencia nominal.....	18
Aerogenerador musgrove de 5 kw de potencia nominal.....	26
Suministro de agua mediante aerobombas multipalas, aerobombas savonius y aerocompresores.....	34
Aerobomba multipala.....	34
Aerobomba savonius.....	39
Aerobomba por compresion de aire accionada con una turbina savonius.....	45
Desalinización de agua con energía solar.....	48
Desalinizador solar del tipo invernadero.....	49
Desalinizador solar por evaporación instantánea.....	54
Calentamiento de agua mediante colectores solares.....	58

Calentador solar con colectores cilíndrico - parabólicos y banco de lupas.....	58
Calentador de agua de colector solar plano.....	64
Producción de biogas mediante digestores anaeróbicos.....	67
Refrigerador accionado con un aerogenerador.....	77
Sistema de adquisición y registro automatizado de variables metereológicas, control- armonización de los sistemas instalados	80
Sistema automatizado de adquisición de data ambiental.....	81
Sistema de regulación de velocidad para turbinas eólicas.....	84
Discusión de resultados sección I.....	86
II. Proyectos formulados y desarrollados relativos, actividades de transferencia tecnológica y asesoría técnica.....	88
Programas y proyectos formulados presentados a entes gubernamentales y financieros.....	89
Actividades de asesoría técnica y de transferencia tecnológica desarrolladas.....	90
Discusión de resultados sección II.....	125
III. Formación de talento humano en fuentes renovables de energía.....	126
Discusión de resultados sección III.....	130
Referencias bibliográficas.....	132
Otras fuentes consultadas.....	133

PRESENTACIÓN

El estudio y aprovechamiento de las fuentes renovables de energía como alternativa al alto consumo energético mundial es un tema de interés transversal que abarca lo académico, lo social, lo ambiental y lo corporativo, en este sentido resulta de interés para toda la colectividad académica y general las investigaciones que se han realizado en relación a este tema en las últimas décadas a nivel mundial.

Los resultados de la investigación que se pone en manos de los lectores e interesados en el tema energético a través de esta entrega da cuenta de la trascendencia de los aportes realizados por la Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda” al equilibrio medioambiental, a los problemas sociales más latentes en materia de energía en algunas zonas rurales, respondiendo de esta manera al compromiso científico, tecnológico y social que está implicado en el quehacer académico universitario.

El Profesor Vicente Durán dedicó su actividad académica al desarrollo de energías alternativas en los laboratorios del Centro de Investigaciones Tecnológicas de la UNEFM (CITEC) y posteriormente en el Centro de Investigación en Tecnología Industrial y Pesquera (CITIP), logrando concretar objetivos palpables que impactaron positiva y trascendentemente el estar y devenir social de comunidades desposeídas de energía eléctrica, agua potable y saneamiento ambiental, demostrando con ello, la importancia real de los estudios realizados en el seno de la Universidad.

Para el Fondo Editorial UNEFM es un compromiso reconocer y divulgar el proceso y resultados de esta investigación que representa la esencia de lo que es esta Alma Mater en materia de producción, calidad, tecnología y servicio. La invitación es a ser parte de este recorrido investigativo que nos dona el profesor Vicente Durán como parte de una trayectoria al servicio de la academia y la sociedad desde la investigación universitaria.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías apropiadas para el aprovechamiento de energías renovables constituyen materia de interés mundial, claves para la protección del medio ambiente y el desarrollo estratégico de los pueblos. Estas tecnologías, no centralizadas y no contaminantes, de fácil instalación y mínimo mantenimiento, resultan ventajosas en áreas aisladas, donde la aplicación de sistemas convencionales es altamente costosa. Ellas proveen recursos energéticos seguros que permiten afirmar la independencia económica y el bienestar de cualquier nación y han sido especialmente recomendadas en el intento por lograr un desarrollo global sustentable.

Los países industrializados en el proceso de sustitución de tecnología asociada al uso y producción de combustibles altamente contaminantes, han otorgado creciente importancia a la investigación en fuentes alternas de energía, obteniendo significativos logros tecnológicos que alcanzan a la instalación de plantas industriales, al hacerlas competitivas con los hidrocarburos, recursos naturales no renovables en proceso de extinción. En contraste, en países como el nuestro, la investigación en energías no convencionales es incipiente; mientras que la tecnología para generar energía con fines productivos y de servicio apenas reduce su compleja dependencia de los hidrocarburos.

Venezuela posee vastos recursos energéticos: ocupa el primer lugar mundial con reservas probadas de petróleo y el quinto en gas asociado, posee importantes fuentes hidráulicas y carbón que compite con los mayores mercados y “es uno de los países más privilegiados del Mundo por la cantidad y calidad de la energía solar que recibe y por la velocidad y constancia de los vientos alisios”. Esta situación garantiza

mantener una sostenida actividad productiva petrolera e igualmente permitiría disponer eficientemente de energía eólica y solar adicionales.

A este respecto Chitty y Harris 1984 en su trabajo realizado en la Universidad de Cleveland sobre el potencial energético de Venezuela expresaron: por su localización en el Cinturón de Energía Solar, los niveles de insolación y energía total recibida ($5-6 \text{ kW/m}^2\text{-día}$) que no fluctúan significativamente sobre el ciclo anual se ha determinado que, con eficiencias tecnológicas corrientes del 10%, se requeriría una superficie menor a la décima parte de la Península de Paraguaná, para suplir los 30.000 millones de kW-h/año del consumo nacional en energía eléctrica.

El régimen de vientos, en algunas estaciones, muestra una velocidad constante, potencial anual promedio y energía total anual que exceden los $4,5 \text{ m/s}$, 60 W/m^2 y 500 Kw-h/m^2 , respectivamente, ver figura N° 1 del potencial solar y eólico del país.

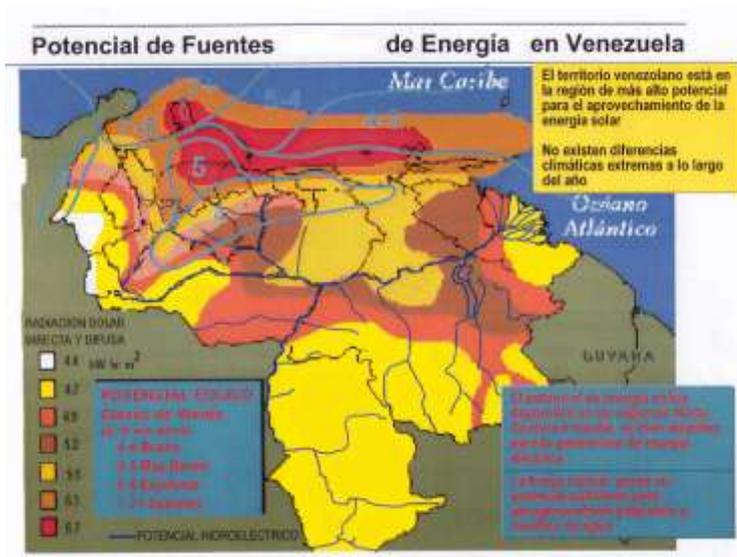


FIGURA 1. Potencial energético solar y eólico del país. Dirección de Energías Renovables, Ministerio de Energía y Petróleo (MENPE). 2007

En este contexto, se concibe un Proyecto de Desarrollo de un Sistema de Abastecimiento Energético para Vivienda Rural Mediante Fuentes Renovables de Energía. La Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM), en cooperación con la Fundación Instituto de Ingeniería, la Universidad de Cleveland (USA) y la División Sectorial de Malariología del Ministerio de Sanidad y Asistencial Social, ejecutaron el Proyecto; para lo cual se construyó una vivienda rural en terrenos del Complejo Académico el Sabino de la UNEFM en Punto Fijo, estado Falcón y una planta piloto, con módulo computarizado de control, para generación de energía a partir de fuentes renovables, que integra un aerogenerador, una terma solar, una planta desalinizadora solar, un refrigerador solar; un sistema eólico para bombeo de agua, y un sistema de adquisición y registro de data meteorológica, básica para el diseño de los prototipos desarrollados en el Laboratorio de Energías No Convencionales (CITIP/UNEFM), que funciona en la misma planta.

Los prototipos fueron logrados con la participación de investigadores adscritos al Área de Tecnología, al Centro de Investigación en Tecnología Industrial y Pesquera (CITIP) y a los Departamentos Académicos adscritos al Área de Tecnología de la UNEFM en Punto Fijo; al inicio se contó con la asesoría del Centro de Ingeniería Mecánica de la Fundación Instituto de Ingeniería.

La planta piloto permite:

- Suministrar electricidad para aparatos de uso doméstico. Proveer agua potable y caliente. Suplir gas combustible y suministrar energía a instrumentos de medición.
- Ejecutar trabajos de investigación-innovación-desarrollo en energía solar, eólica y biomasa utilizadas en forma individual o combinada;

para lo cual se probaron nuevas técnicas de optimización en la integración en las fuentes de energía consideradas.

- Identificar aplicaciones potenciales para la economía y/o el desarrollo del país, tales como: a) electrificación en islas o zonas aisladas; b) señalización marina y equipos de navegación; c) comunicación remota; d) protección catódica; e) refrigeración; f) bombeo de agua; o para proveer energía eléctrica a pequeños centros de producción, educativos o de prestación de los servicios de salud ubicados en zonas remotas o aisladas del territorio nacional.

El desarrollo de un complejo energético mediante fuentes renovables de energía garantizaría el impulso de la industria y generaría importantes divisas; es un producto exportable y contribuye al ahorro de combustible, que se traduce en ahorro de divisas. La aplicación de este proyecto permitiría a la Guardia Nacional, al Ejército o a la Armada Venezolana contar con tecnología energética segura e independiente en cada puesto estratégico de las zonas fronterizas, costera e insular del país ubicadas en zonas remotas, aisladas de difícil acceso.

Existe interés de corporaciones del sector privado en la implementación del sistema energético para el aprovechamiento de algas agarofitas, abundantes al norte de Paraguaná para permitir el funcionamiento de una planta de procesamiento y desarrollo Industrial para la producción de agar-agar, de gran valor comercial, dadas las condiciones de aislamiento de los bancos de cultivo; y para desarrollos turísticos promovidos en la zona (LLamosas, B., proyecto CONICIT 2758, 1983). Se resalta la importancia de su puesta en valor en zonas de potencial agrícola, donde se garantizaría, además de la demanda energética, un sistema de riego eficiente, sin necesidad de un complejo centralizado para tal fin. Se han formulado proyectos y estudios de factibilidad técnico-económico-social para la producción en serie de los prototipos o del sistema energético propuesto y una estrategia de optimización para su uso en gran escala en localidades rurales aisladas, comunidades

indígenas o urbanas desasistidas donde no se cuenta con servicios públicos atendidos por los medios convencionales.

Los programas y proyectos que se presentan en esta memoria descriptiva fueron desarrollados con la participación de profesores/investigadores adscritos a los Departamentos Académicos del Área de Tecnología de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda e investigadores de la Fundación Instituto de Ingeniería, con la participación de estudiantes de ingeniería de las universidades: Metropolitana de Caracas (UM), del Zulia (LUZ), Rafael Bellosillo Chacín (URBE), Politécnica Territorial de Falcón “Alonso Gamero” (UPTFAG), Universidad Politécnica Antonio José de Sucre (vicerrectorado de Barquisimeto) y del Área de Tecnología UNEFM, con la elaboración de trabajos de grado y pasantías.

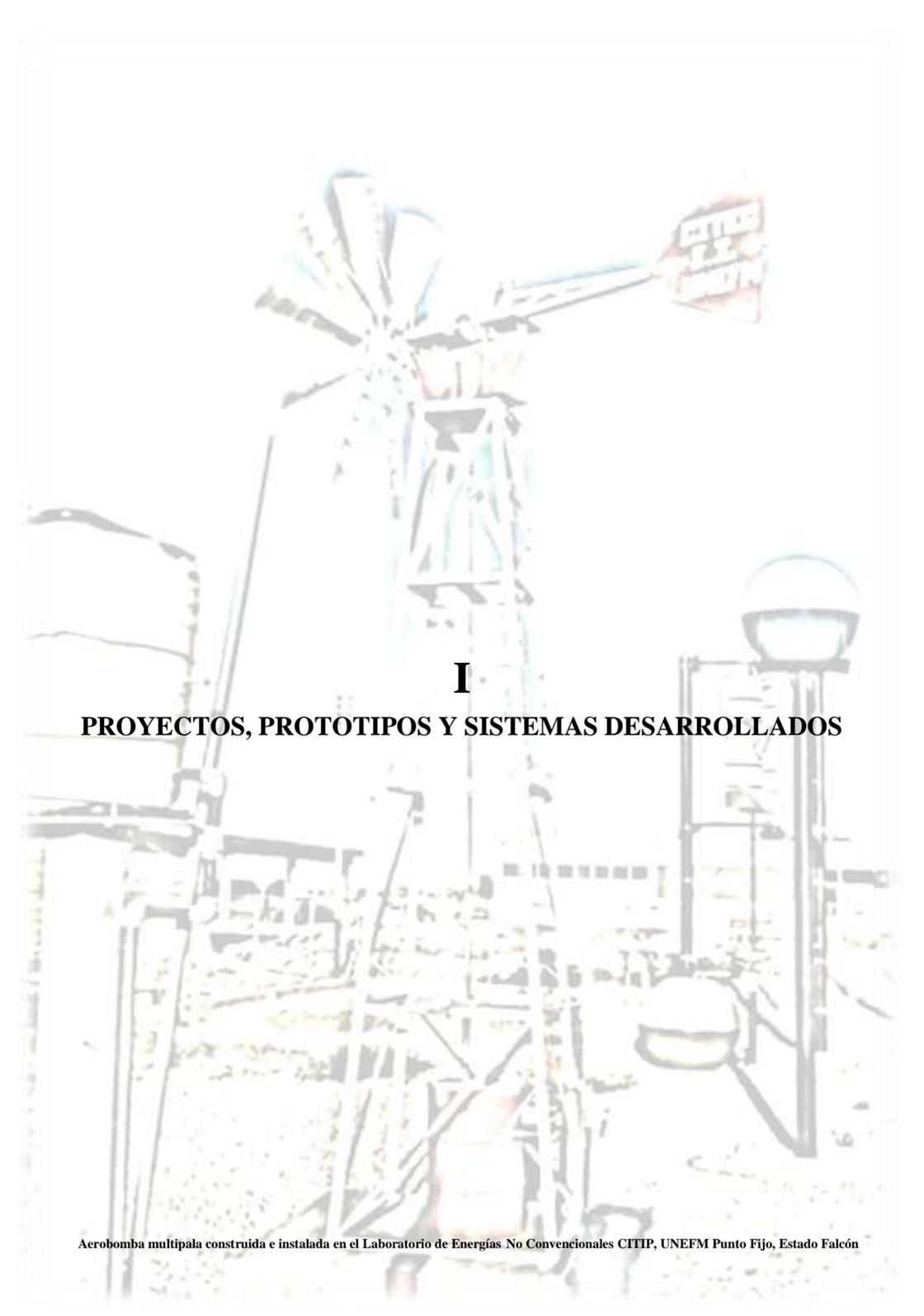
Se contó con financiamiento de entes gubernamentales del Estado Venezolano tales como: FUNDACITE Falcón, Gobernación del Estado Falcón, la Fundación ZUMAQUE/MARAVEN-PDVSA, instituciones universitarias, y ONGS internacionales; sin embargo la mayor y principal fuente de financiamiento fue el Decanato de Investigación de la UNEFM; recursos administrados de manera conjunta por los entes participantes a través de los fondos creados en el marco de ejecución de los convenios de cooperación interinstitucionales.

Los prototipos fueron probados mediante un proceso de seguimiento, caracterización y control para garantizar su óptimo funcionamiento, y a través de una estrategia de cooperación con la Fundación Zumaque de la empresa MARAVEN/PDVSA entre los años 1995 y 1998. Posteriormente, con entes adscritos a gobiernos regionales o locales los prototipos fueron transferidos a comunidades rurales, indígenas y urbanas desasistidas ubicadas en los estados Zulia, Falcón, Anzoátegui, Monagas, Sucre, Delta Amacuro y Amazonas de la República Bolivariana de Venezuela. Para tal fin se empleó como estrategia

fundamental la incorporación activa de las comunidades en las diferentes fases de ejecución de los proyectos emprendidos, para que con la aplicación de mecanismos de autogestión garantizar la sustentabilidad en el uso de las tecnologías transferidas por la UNEFM y asimiladas por las propias comunidades una vez finalizada la fase de acompañamiento técnico-social.

Para aprovechar la formación y experiencia adquirida por los investigadores en el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, además de la exitosa experiencia de trabajo a través de convenios de cooperación interinstitucionales, se desarrolló un proceso de formación de talento humano especializado en investigación, formulación y evaluación de proyectos, construcción, instalación, prueba y mantenimiento de tecnologías apropiadas fundamentadas en el uso de las energías renovables.

Se dio inicio a esta experiencia incorporando unidades curriculares electivas en los pensum de estudios de los programas de ingeniería del Área de Tecnología de la UNEFM, continuando con estudios de diplomado y de cuarto nivel en fuentes renovables de energía. Para garantizar que se cuente con personal técnico capacitado en labores de instalación, operación y mantenimiento; además se han dictado de manera permanente cursos de formación continua (no conducentes a grado), en diferentes regiones del país, lo que determina que la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda se constituye en la institución pionera en Venezuela en el establecimiento de estudios formales en disciplinas relacionadas con el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en sus diferentes vertientes.



I

PROYECTOS, PROTOTIPOS Y SISTEMAS DESARROLLADOS

Aerobomba multipala construida e instalada en el Laboratorio de Energías No Convencionales CIITP, UNEFM Punto Fijo, Estado Falcón

El objetivo ha sido diseñar, construir, instalar y probar tecnologías apropiadas en fuentes renovables de energía y transferirlas a comunidades indígenas, rurales aisladas o urbanas desasistidas que carecen de infraestructura de servicios básicos, a partir del desarrollo de prototipos que permitiesen lograr un modelo de autoabastecimiento energético para satisfacer las necesidades de agua potable, agua caliente, iluminación, cocción, bombeo, refrigeración y comunicación en una vivienda tipo rural media que, a su vez, pudiese ser utilizada como laboratorio en fuentes renovables de energía. Se postuló:

- 1) Desarrollar equipos por subsistemas, que respondiesen a la demanda básica de la vivienda, en función de su localización, puesto que tales condiciones determinan el uso diversificado entre ellos.
- 2) Transferir los prototipos a comunidades mediante medios que permitan garantizar su uso, mantenimiento y reproducción masiva de forma sustentable.

Subsistemas

- 1.1. De generación de electricidad mediante aerogeneradores;
- 1.2. De bombeo de agua mediante aerobombas;
- 1.3. De desalinización de agua de mar mediante desalinizadores solares directos;
- 1.4. De calentamiento de agua mediante colectores solares;
- 1.5. De producción de gas metano mediante biodigestores;
- 1.6. De refrigeración, accionado mediante un eolito;
- 1.7. De adquisición y registro automatizado de variables meteorológicas, control y armonización de los demás subsistemas.
- 1.8. De regulación de velocidad de turbinas eólicas.

SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD A TRAVÉS DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA Y GENERADORES HÍBRIDOS (EÓLICO – SOLARES)

Uno de los principales problemas de las comunidades rurales distantes es que carecen de medios confiables para el suministro regular de energía eléctrica, situación que se ve agravada ante la imposibilidad de ampliar la cobertura del servicio por los medios convencionales debido a los costos de generación y distribución de los sistemas centralizados.

Una alternativa de solución a la situación planteada es la implementación de sistemas de generación que aprovechen las fuentes de energía del sol y la eólica; abundantes, no contaminantes, su utilización no reviste costo y por su simplicidad tecnológica pueden ser construidas, operadas y mantenidas por los mismos usuarios (por lo general habitantes de comunidades rurales de escasos recursos económicos y tecnológicos); además que se pueden instalar como unidades independientes para cada familia, lo cual asegura su asimilación y sustentabilidad.

Tomando en consideración las necesidades de energía eléctrica de una vivienda promedio del sector rural, se diseñaron construyeron y probaron, dos prototipos experimentales de plantas generadoras de electricidad utilizando sistemas conversores de energía diferentes:

- Un sistema híbrido conformado por una turbina eólica de eje horizontal de alta velocidad y un panel de módulos solares fotovoltaicos; con capacidad de 1 kW de potencia nominal.
- Un generador accionado por una turbina eólica de eje vertical del tipo MUSGROVE de 5kW de potencia nominal.

GENERADOR HÍBRIDO EÓLICO – SOLAR FOTOVOLTAICO DE 1,5 kW DE POTENCIA NOMINAL

Se diseñó el generador partiendo de la estimación de la energía eólica disponible en el lugar donde se instalaría el sistema conversor de energía, del cálculo de la demanda de energía eléctrica de una vivienda rural promedio y del sistema de generación a utilizar. Considerando que en el mercado venezolano se dificulta la consecución de generadores asincrónicos de corriente continua, se seleccionó como mecanismo de generación un alternador automotriz haciéndole modificaciones eliminando el devanado que constituyen las bobinas del estator y utilizando imanes permanentes, con puente rectificador incorporado, control automático para corto circuito y sistema de regulación de tensión de carga, para suplir corriente continua a 90 amperios y 13,5 voltios.

El problema que se presenta con este tipo de equipos es que opera a velocidades de trabajo superiores a 700 rpm, además que para moverlo a plena carga se debe vencer un alto torque, por lo cual se hizo necesario desarrollar una turbina eólica capaz de vencer el par de arranque bajo carga y un sistema de transmisión que pudiera incrementar la velocidad entregada por el rotor eólico hasta los requerimientos del alternador, para asegurar su operación con vientos moderados.

Otro aspecto importante de destacar es que al modificar el alternador y hacerlo funcionar con imanes permanentes se puede generar a menores velocidades de rotación y no requiere de excitación externa antes de iniciarse la generación, que por lo general ocurre cuando se dispone al menos de una velocidad del viento desde los 3 m/s, las pruebas realizadas en el Laboratorio de Energías No Convencionales (CITIP/UNEFM) permiten concluir que no es posible utilizar los alternadores automotrices sin modificarlos para fines de aerogeneración

puesto que a baja velocidad la turbina eólica inicia el movimiento pero al energizarse el alternador ocurre un efecto de frenado que la hace detener abruptamente hasta su destrucción, por el efecto cizalla, aun cuando se tome en cuenta para fines de diseño el alto par de arranque bajo carga que ocurre en ese momento. Sin embargo, si se pueden usar con buen resultado los dinamos de imanes permanentes que utilizaban la mayoría de automóviles antes de la década de los años 60 y seleccionar el perfil aerodinámico adecuado de las palas o alabes aerodinámicos que constituyen la turbina del aerogenerador.



FIGURA 2. Generador híbrido eólico solar de 1,5 kW de potencia nominal

Sistema de transmisión

Inicialmente estaba compuesto por un doble tren conformado por piñones, caterinas y cadenas de motocicleta que incrementan la velocidad de salida al alternador, en una relación de 8 veces la velocidad de entrada (entregada por el eje de la turbina). Pero posteriormente se probó con transmisión directa a través de piñones y engranajes, y con poleas dentadas y correas automotrices. Estas partes automotrices están diseñadas para resistir exigencias de operación superiores a las del sistema de generación de electricidad, por lo cual son adecuadas a la aplicabilidad que se les da en el proyecto, donde se tendrán condiciones de operación menos drásticas.

Particularmente “ la cadena de rodillos “, que se muestra en la figura N° 3, es el accesorio que interconecta el sistema, se caracteriza por tener un alto rendimiento (alrededor de un 98 %), deslizamiento nulo y no precisa de fuerte tensión inicial, lo cual constituye una ventaja en estos mecanismos que operan por largos espacios de tiempo elevados del suelo.

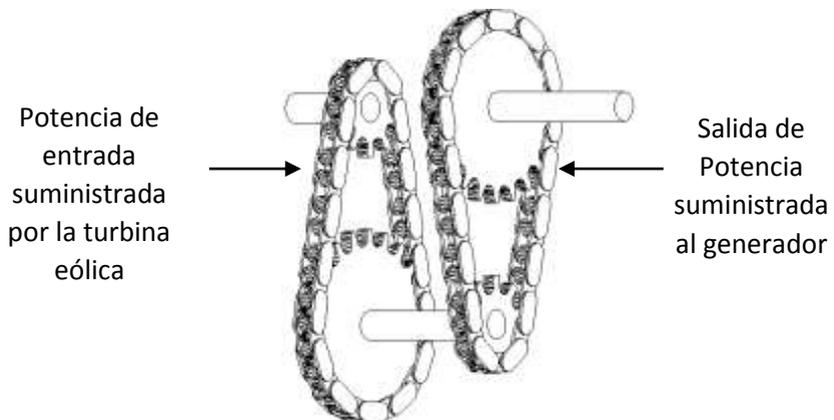


FIGURA 3. Sistema de transmisión del generador eólico

Turbina eólica

Los parámetros de diseño utilizados para el dimensionamiento de la turbina fueron los siguientes: potencia requerida para accionar el alternador bajo un esquema de operación a plena carga, las pérdidas de eficiencia en el sistema conversor y en el sistema de transmisión (por efectos de roce en los mecanismos de giro) y la velocidad que debe entregar el rotor en el eje (antes del sistema de transmisión).

Se seleccionó una turbina de eje horizontal de alta revolución con un coeficiente de potencia característico de 0,45 (coeficiente de Betz - $C_p = 0,45$ obtenido en ensayos de túneles de viento). La turbina al girar describe una circunferencia con un área de acción o área de barrido (A), que se calcula tomando como referencia la potencia cinética de la turbina (P_c), la densidad del aire de la localidad (ρ), la velocidad promedio más frecuente y aprovechable en el ciclo anual (V). El área de barrido se despeja de la ecuación:

$$P_c = \frac{1}{2} V^3 \times A \times C_p \times \rho$$

Para accionar el alternador seleccionado (Motorcraft de 90 A), se requiere de una turbina que genere un área de barrido de 6,42 m² (álabes de 1,28 m de longitud acoplados al cubo del rotor).

Para establecer el número de álabes se partió de la premisa “que éstos deberían ser suficientes para vencer el par de arranque bajo carga y suministrar la velocidad angular necesaria para lograr la generación, incluso ante la presencia de vientos moderados”. Se calculó la relación de velocidad en la punta del álabe, obteniendo como resultado que se deben utilizar entre dos (2) y cuatro (4) álabes aerodinámicos. Inicialmente se instalaron dos álabes pero al presentarse problemas con el arranque de la turbina, se incorporó uno más y finalmente las pruebas de campo determinaron que eran necesarios por razones de seguridad y

a fin de garantizar que se suministraría la potencia suficiente para vencer el par al momento de la generación, 4 álabes; aun cuando se sacrificó velocidad, la cual pudo ser compensada con el sistema de doble transmisión.

Los álabes se construyeron con plástico reforzado con fibra de vidrio, perfil NACA 6412 (seleccionado con el número de Reynolds calculado para esta turbina). Se acoplaron al cubo del rotor con unos accesorios tipo sándwich, contruidos con lámina de acero al carbono de 35 mm de espesor, apernados a una brida ciega de 25 cm de diámetro. Detalles de la turbina se pueden observar en el diagrama y la fotografía que se presentan en la figuras 4, 5a y 5b.

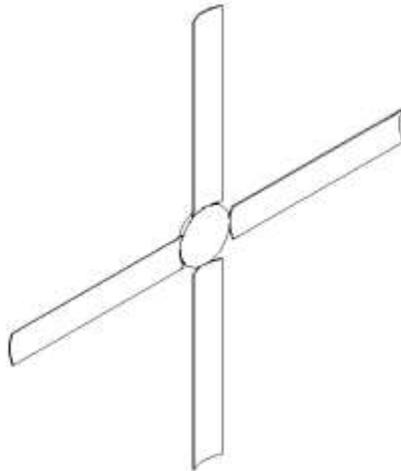


FIGURA 4. Álabes acoplados al cubo del rotor



FIGURA 5ª. Aerogenerador y torre de Sustentación



FIGURA 5b. Aerogenerador en proceso de construcción

Tornamesa

Para fijar el conjunto turbina –subsistema de transmisión – alternador - subsistema de orientación, se construyó una tornamesa con lámina de 5 mm de espesor y una cubierta aerodinámica de aluminio de 1 mm, para brindarle protección al sistema de generación de la intemperie y de la acción altamente corrosiva de la atmósfera salina característica de la Península de Paraguaná y de la zona costera e insular del norte de Venezuela, que son las zonas de mayor aplicación del proyecto. En la figura 6, que se muestra a continuación se puede observar cómo está conformada la base de la tornamesa.

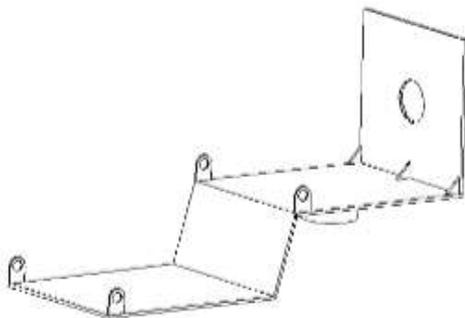


FIGURA 6. Tornamesa del generador eólico

Alimentación Fotovoltaica

Para asegurar que el sistema de generación opere durante todo el año, incluso en épocas de calma, se calculó el complemento que se debería tener en generación fotovoltaica y al efecto se instalaron dos paneles solares de 100 W de potencia nominal, que aseguran la carga del banco de baterías dimensionado de acuerdo a los requerimientos de la carga y horas de reserva establecidos de acuerdo a la latitud del lugar para

garantizar el suministro continuo de energía eléctrica a la vivienda rural, con una autonomía de tres días.

Básicamente se desarrolló el sistema híbrido para garantizar el funcionamiento durante todo el año, de tal manera que funcione con energía eólica durante los períodos de persistencia de este recurso energético en el ciclo anual, y se cargue el banco de baterías con la complementación de energía fotovoltaica que suministran los paneles solares en las épocas de calma.

Lo cual se puede constatar durante su operación en la Comunidad de Jacuque ubicada al noreste de la Península de Paraguaná donde fue instalado el sistema de generación híbrido eólico-fotovoltaico (ver figura N° 7), para suministrar energía eléctrica a tres viviendas de familias que se dedican a la producción de ganado caprino y producción de queso a partir de la leche de cabras.



FIGURA 7. Aerogenerador Híbrido instalado en la comunidad de Jacuque

Banco de baterías

El banco está conformado por tres (3) baterías estacionarias de 12 V y 200 Ah, la alimentación del banco se controla a través de un regulador para evitar sobrecargas o sobredescargas que puedan averiar las baterías, puesto que se pueden dañar por efectos de sobrecarga, pero también de sobredescarga (es recomendable no descargarlas por debajo del 30 % de su capacidad nominal). En la figura número 8 se puede observar el banco e baterías.



FIGURA 8. Banco de baterías del generador híbrido “eólico solar fotovoltaico”

AEROGENERADOR MUSGROVE DE 5 kW DE POTENCIA NOMINAL

Para abastecer de energía eléctrica a pequeños conglomerados conformados por viviendas unifamiliares agrupadas, pequeños centros de producción, posadas turísticas, centros educativos o de atención de salud, se diseñó, construyó y probó un aerogenerador con capacidad suficiente para cubrir la demanda de hasta diez viviendas ubicadas adyacentes unas de otras en pequeños caseríos del sector rural.

El aerogenerador utiliza una turbina de eje vertical del tipo MUSGROVE de 6,7 kW de potencia nominal. Existen diversas turbinas de eje vertical: la Savonius, la Darrieus, el Giromil y la Musgrove. A los efectos de generación de corriente eléctrica las más aplicables son la turbina Bi o Tripala de eje horizontal, o las turbinas de eje vertical: Darrieus, Giromil y Musgrove.

La turbina Darrieus fue inventada en 1925 y desarrollada independientemente por el Establecimiento Aeronáutico del Consejo Nacional de Investigación del Canadá en los primeros años de la década del 70 (Instituto de Cooperación Iberoamericana y HONDUTEL 1985).

Aun cuando presenta la más alta eficiencia tiene el inconveniente que su diseño y construcción es compleja, los álabes aerodinámicos describen una figura geométrica denominada Troposkien que presenta una relativa dificultad para el cálculo, además durante la operación puede presentar problemas por la presencia de armónicos, los costos asociados a la operación y el mantenimiento son por lo general más altos.

Se eligió la turbina Musgrove por ser de menor complejidad, es una variante del Giromil; tiene la particularidad que los álabes aerodinámicos se inclinan ante la presencia de vientos huracanados, variando el área de barrido lo cual permite reducir la velocidad, controlando así su relativa autonomía. Fue desarrollada por Peter Musgrove en la Universidad de Reading - Inglaterra en la década de los 80.

Tomando como elemento de partida para fines de cálculo el uso de un motor de corriente continua para que funcione como generador de energía eléctrica (desechado de un barco atunero), que se adquirió

para que opere como motor de arranque hasta que la turbina obtenga la velocidad de sustentación, y luego pase a funcionar como generador de corriente continua con una potencia nominal estimada de 5 kW y cargue el banco de baterías que a través del inversor AC/DC finalmente alimentara la carga. Se diseñó la turbina eólica y el sistema de transmisión para que suministraran la potencia y velocidad requerida por el generador y de esta manera garantizar su operación a la velocidad del viento de diseño, determinada para las condiciones meteorológicas de la ciudad de Punto Fijo, estado Falcón.

En la fotografía que se presenta a continuación (figura N° 9), se muestra el aerogenerador Musgrove de 5 kW de potencia nominal, diseñado, construido, instalado y probado en las instalaciones del Centro de Investigaciones Industriales y Pesqueras, Complejo Académico el Sabino de la Universidad Francisco de Miranda, ubicado en la Ciudad de Punto Fijo, Municipio Carirubana del estado Falcón.



FIGURA 9. Aerogenerador Musgrove de 5 kW de potencia nominal

Sistema de transmisión

La turbina diseñada para accionar el generador de electricidad utiliza un diferencial automotriz (que cambia el sentido del giro de eje vertical a eje horizontal), y conectado a uno de sus extremos una polea, que cumple además la función de volante de inercia y elemento multiplicador de velocidad. Por la gran diferencia de diámetro con respecto a la polea mucho más pequeña que la del generador. La turbina a través de un cardán de automóvil, acciona el diferencial y éste a su vez la polea (que como se mencionó está colocada en uno de sus extremos, ver figura N° 10), fue calculada para lograr la relación de transmisión requerida por el generador de tal manera de asegurar su operación en presencia de vientos de regular intensidad.

El acople del volante de inercia a la polea conectada al generador se hace a través de una correa en V, de tensión regulada por un mecanismo ubicado en la base del generador. La transmisión por correa tiene la ventaja que absorbe las vibraciones, pero se debe tener la precaución de mantenerla tensada para evitar deslizamientos y pérdidas de potencia por efecto de roce en la transmisión. Detalles del sistema de transmisión se pueden observar en la figura 10 que se presenta a continuación.

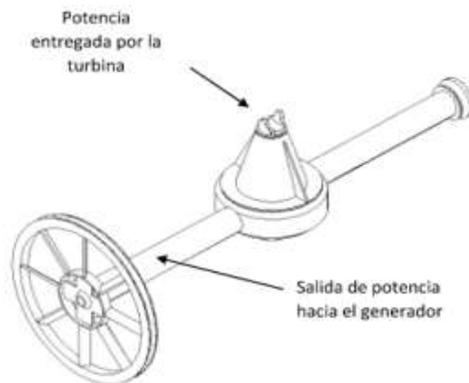


FIGURA 10. Sistema de transmisión utilizado en el aerogenerador Musgrove

Turbina eólica

Se calculó la densidad de potencia del lugar donde se instalaría la turbina (en el orden de $1.004, 21 \text{ W / m}^2$), considerando un coeficiente de potencia ($C_p = 0,45$), se obtiene que la potencia de salida de la turbina (P_s), se expresa de la siguiente manera:

$$P_s = 451, 89 \times A$$

Quedando como incógnitas P_s y A . A se refiere al área de barrido que describe la turbina al girar, por ser una turbina de eje vertical genera un sólido de revolución, que en este caso es un cilindro, de base D y altura H ; por lo tanto la ecuación anterior queda de la siguiente manera:

$$P_s = 451,89 \times D \times H$$

La altura es determinada por la longitud de los álabes. Se utilizaron álabes aerodinámicos perfil NACA 0015, suministrados por el Instituto de Ingeniería, de 2,94 m de longitud; contruidos de aluminio obstruido, por lo cual H es conocido; y la expresión resultante queda expresada en función de la potencia de salida (P_s), y el diámetro del cilindro que describe la turbina al girar (D). Para la realización del proyecto se contaba, como se explicó anteriormente, con un generador recuperado de un barco mercante, que requiere de 5 kW para accionarlo, si a esto se agrega un 30 % de pérdidas por transmisión y eficiencia del sistema eólico, la turbina debe producir una potencia de salida (P_s), no menor de 6,5 kW; por lo que solo queda por conocer D . Para determinar este parámetro se realizaron las iteraciones calculando la potencia de salida para diferentes valores de diámetro (desde 2,2 m hasta 5,4 m), obteniendo como resultado que la geometría de la turbina debe ser de 3,2 m de diámetro (1,6 m de radio), y 2,94 m de altura.

La turbina eólica está conformada por tres álabes ubicados equidistantes sobre el eje, sostenidos por dos soportes horizontales cada uno, en el

extremo del soporte inferior se ubica el punto de apoyo donde pivota el álabe que se abre o se cierra de acuerdo a la fuerza centrífuga preexistente, determinada por la velocidad de giro, para operar el sistema de auto control que se complementa con la elongación del resorte ubicado dentro del tubo que conforma el apoyo superior, que a su vez está conectado al álabe.

Detalles de la turbina se pueden observar en la figura 11.

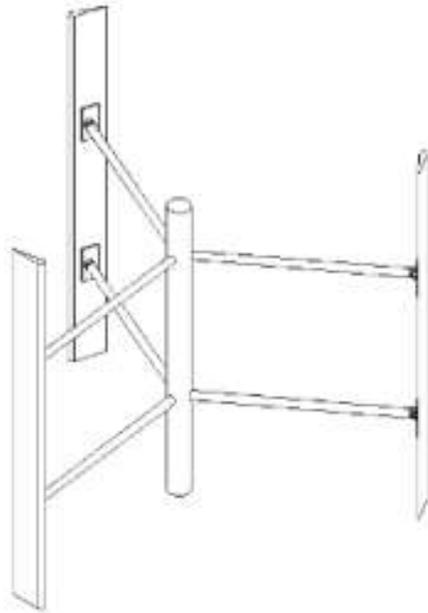


FIGURA 11. Turbina del aerogenerador Musgrove

Torre de sustentación, banco de baterías, control de energización y arranque de la turbina

La turbina, y el sistema de transmisión se instalaron sobre una torre de sustentación de 3 m de altura (ver figura 12), construida con tubo recuperado de hierro fundido de 6 pulgadas de diámetro, en cuya base se instaló el generador y el banco de baterías, que alimenta las cargas y al generador (que por ser de corriente continua) sirve como motor de arranque que mueve inicialmente la turbina hasta que esta alcanza la velocidad de sustentación y puede operar de forma continua mientras persiste la acción del viento a la velocidad requerida.

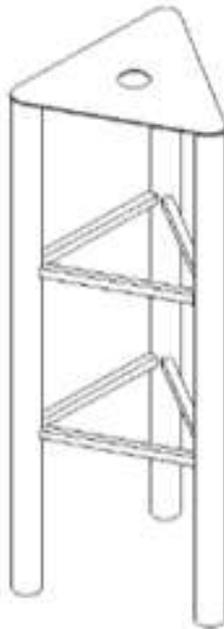


FIGURA 12. Torre de sustentación del aerogenerador Musgrove

Para el control de carga, generación y arranque de la turbina se diseñó y construyó un sistema alimentado por el banco de baterías y operado a distancia por motivos de facilidad y seguridad del operador.

Banco de baterías, subsistema de arranque, control de generación e inversión DC/AC

El banco de baterías está conformado por cuatro grupos de baterías en paralelo, cada grupo con cuatro baterías de 12 V y 100 Ah conectadas en serie, para un total de 16 baterías que garanticen los 48 voltios que requiere el aerogenerador para arrancar y después para cargar el banco, además de garantizar el suministro continuo de energía eléctrica al inversor con dos días de respaldo que aseguren que en caso de presentarse momentos de calma el banco cuente con suficiente almacenamiento de energía para el funcionamiento de la carga eléctrica instalada.

Como se mencionó con anterioridad para la generación se utilizó un motor-generador de corriente continua de 48 V y 5 kW de potencia, que inicialmente se arranca con el banco de baterías y hace mover la turbina hasta que ésta alcance la velocidad de sustentación y de ahí en adelante empieza a generar por la acción del viento que incide sobre el perfil aerodinámico de los álabes.

Para el control de arranque y generación se diseñó una tarjeta electrónica que actúa mediante un sensor de movimiento interconectado a un anemómetro que registra la velocidad del viento y da la señal para que el motor arranque la turbina y después haga el cambio a generador. Este dispositivo incluye además el control de carga del banco de baterías para evitar que se averíen por sobre carga o por sobre descarga.

Como la generación de energía eléctrica se hace en 48V de corriente continua y la carga que está conformada por los equipos electrodomésticos de las viviendas o por equipos electromecánicos en pequeños centros de producción que funcionan con 110 V de corriente alterna (AC) y 60 ciclos (Hz) fue necesario seleccionar en el mercado un inversor de 48 V de corriente continua de tensión de entrada y que entregue 110 V de corriente alterna y 60 Hz a la salida y 5 kW de potencia para la alimentación de la carga.

SUMINISTRO DE AGUA MEDIANTE AEROBOMBAS MULTIPALAS, AEROBOMBAS SAVONIUS Y AEROCOMPRESORES

Para la extracción de agua de los múltiples acuíferos o corrientes subterráneas abundantes en la geografía del estado Falcón, o agua salobre del subsuelo o del mar utilizada para alimentar los desalinizadores solares y para transportar agua potable a viviendas rurales, pequeños complejos artesanales o comunidades urbanas desasistidas se diseñaron y construyeron tres prototipos de aerobombas accionadas con turbinas eólicas multipalas y del tipo savonius.

AEROBOMBA MULTIPALA

La aerobomba multipala de baja revolución, de eje horizontal, del tipo “Granja Norteamericana“, se construyó para accionar una bomba reciprocante de efecto simple, utilizada para transportar un caudal de $0,83 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua salada o salobre, desde el mar o el subsuelo hasta un reservorio ubicado a 50 m de longitud de un desalinizador solar y a 5 m de altura. Fue construida casi en su totalidad con materiales desechados en talleres automotrices o de herrería y soldadura, como se puede observar en la fotografía presentada en la figura 13.



FIGURA 13. Aerobomba multipala construida e instalada en el Laboratorio de Energías No Convencionales CITIP, UNEFM Punto Fijo, Estado Falcón.

Turbina eólica – Sistema de transmisión

La turbina de 2,8 m de diámetro, lo cual genera un área de barrido de $6,16 \text{ m}^2$ (área de un círculo de 1,4 m de radio, $A = \pi r^2$) y 10 álabes construidos en aluminio de 1 mm de espesor, acciona un mecanismo biela – manivela con una carrera de 30 cm para mover el pistón de la bomba, ver figura 14. El mecanismo biela - manivela transforma el movimiento circular suministrado por la turbina en su eje horizontal, en un movimiento alternativo entregado a la bomba en eje vertical, que al accionarla (de manera alternativa) provoca que el fluido circule en forma de pulsos.



FIGURA 14. Turbina Eólica Multipala

Este tipo de turbinas se caracteriza por poseer uno de los más bajos coeficientes de potencia (C_p entre 0,25 y 0,3), sin embargo al diseñarse con un diámetro adecuado y un número de álabes alto, genera gran potencia a baja velocidad, lo que permite que se pueda vencer el alto par de arranque que exigen la bombas reciprocantes bajo condiciones de plena carga, lo cual las hace ideales para este tipo de usos.

La cantidad de álabes de la turbina se calcularon con el coeficiente de arrastre (C_d), la Velocidad angular (ω), y la velocidad en la punta del álabe; tienen un perfil semicircular, más ancho en el extremo que la parte que lo conecta al cubo del rotor, donde la velocidad angular es mayor; con un ángulo de ataque determinado mediante calculo, pero optimizado de manera experimental.

Sistema de bombeo

En la bomba recíprocante el movimiento y la presión se aplican al fluido por medio de un pistón alternativo ubicado en el interior de un cilindro para desplazarlo a la superficie; a su vez se ejerce una acción aspirante para extraerlo del subsuelo, de tanques o reservorios ubicados por debajo del nivel de carga. En el prototipo diseñado, construido, instalado y probado en la sede del CITIP/UNEFM, la turbina se ubicó a 4 m sobre el nivel del piso y la bomba a 3,5 metros por debajo del subsuelo (para realizar una simulación de extracción de agua del mar); para lograr que el movimiento giratorio de la manivela y alternativo de la biela llegaran al pistón, se utilizó un vástago con una junta giratoria para evitar que el pistón gire dentro del cilindro, al absorber el giro de la tornamesa.

Para que el fluido entre a la camisa de la bomba en la fase de aspiración y se eleve a la superficie en la fase de compresión es necesario contar con una válvula check que abra cuando el pistón suba y se cierre cuando

baje en su movimiento alternativo vertical. También es necesario que exista un elemento sellante entre el pistón y la camisa que produzca un efecto de vacío y permita la aspiración del fluido ubicado en el pozo, generalmente se utiliza cuero pero también se puede utilizar goma o teflón; sin embargo la práctica ha demostrado que el material más eficiente es el cuero.

El sistema de sello antes descrito constituye el elemento crítico en un sistema de bombeo que utilice bombas reciprocantes sumergidas, puesto que tiene la vida útil más corta y se avería por efectos de las arenas finas que puedan entrar por las ranuras de la camisa del pozo, por lo general tubo de hierro o de polietileno de alta densidad (por lo general de 4 a 8 pulgadas de diámetro), conformado por una sesión ranurada por donde entra el agua al pozo y un tapón con la forma de una punta de lápiz en el extremo que impide la entrada de arena dentro del tubo que se constituye en la camisa del pozo.

También se pueden utilizar pozos artesanales perforados a mano revestidos con tubos de cemento o láminas de acero galvanizado, construyendo un soporte en la superficie para ubicar la bomba centrada en el círculo superior y para evitar que se mueva por la acción del vástago (cabilla que mueve el pistón) y cuya longitud depende de la distancia que hay entre la tornamesa y específicamente desde el sistema de transmisión hasta la ubicación de la bomba por debajo del manto freático del pozo.

Tornamesa - Torre de sustentación

El conjunto turbina – transmisión – control de dirección, se instaló en una tornamesa construida con una lámina de acero al carbono de 5 mm de espesor, apoyada en un rodamiento cónico colocado sobre la torre de sustentación, se utilizó rodamiento cónico para permitir el movimiento

del conjunto turbina, eje, transmisión, veleta de direccionamiento y la tornamesa de considerable peso en su conjunto.

Por el interior del rodamiento (de forma concéntrica), se desplaza el vástago, que a su vez gira cuando la veleta ubica al rotor en la dirección más favorable, para la máxima captación de la corriente de viento.

La torre de sustentación se diseñó tomando en consideración el peso del sistema de aerobombear instalado en su parte superior, considerando también los esfuerzos provocados por las corrientes de viento que ejercen presión sobre la superficie de los álabes que conforman el área de barrido y las facilidades de acceso a la parte superior para el operador que realice las acciones de mantenimiento. Se tomó en cuenta el peso de la armadura en su conjunto sobre los nodos correspondientes; aunque en realidad los miembros se unen con pernos de tal forma que las fuerzas que actúan sobre cada nodo se reducen a una fuerza única, sin dejar lugar a pares de fuerzas longitudinales en cada extremo del mismo.

AEROBOMBA SAVONIUS

Para el transporte o la extracción de agua del subsuelo a profundidades no mayores de 25 m, se construyó una aerobomba con una turbina del tipo Savonius. El rotor Savonius se desarrolló en 1929, pero con el auge del petróleo no fue hasta los años setenta, que ante la crisis petrolera del Medio Oriente, se retomó este original diseño de turbina eólica, para ser usada en diversas aplicaciones.

El principio de operación se basa en el rotor Flettner; se construye cortando un cilindro en el sentido longitudinal, a lo largo de su generatriz, luego se unen las dos superficies semicilíndricas en el plano de corte, de tal manera que formen un perfil que se parezca a una “ S “.

Se han realizado diversos estudios sobre este tipo de rotor, lográndose un éxito considerable en cuanto al mejoramiento de su perfil seccional, obteniendo diversos tipos de perfiles de rotor Savonius:

- De sección semicircular.
- De superficie aerodinámica NACA.
- Sección S (pasaje de álabe cerrado y abierto).
- De doble rotor.

La sección del álabe con pasaje cerrado y abierto se refiere a que entre una superficie semicilíndrica y la otra hay una distancia de separación en los rotores de pasaje abierto, y están pegados a tope en el perfil cerrado. A esta distancia de separación se le denomina traslape y se desarrolló una ecuación que permite calcular la “relación de traslape“, que reviste importancia en el diseño del rotor Savonius puesto que esta relación influye sobre la velocidad. Se seleccionó el rotor Savonius por el hecho de que su construcción es sencilla, giran a baja velocidad y producen un nivel considerable de potencia lo cual los hace ideales para utilizarlos en sistemas de bombeo. Al operar a bajas velocidades se puede utilizar como sistema de arranque para otras turbinas de eje horizontal o vertical.

Turbina eólica y torre de sustentación

Se construyó una turbina con perfil de pasaje de álabe abierto, utilizando tambores metálicos (recipientes de lubricantes de 208 L de capacidad), se cortaron 2 tambores y de las cuatro secciones semicirculares se conformaron dos módulos de álabes, que se unieron utilizando las tapas para darle rigidez a la estructura. Como se utilizaron superficies cilíndricas ya estructuradas, la altura del rotor quedó determinada por los módulos conformados (1,76 m); para determinar el

área de barrido se debió calcular la relación de traslape, a fin de conocer la distancia de separación entre los dos álabes (0,15 m). El área de barrido quedó determinada por un cilindro de 1,0 m de diámetro por 1,76 m de altura.

El rotor se instaló para operar en eje vertical, en una torre de sustentación construida con dos tubos de hierro colado de 6 pulgadas de diámetro, cédula 60, los cuales fueron recuperados de un acueducto fuera de servicio, colocados paralelamente a una distancia de 1,53 m. La referida torre posee características de resistencia y solidez por arriba de los requerimientos del rotor construido de 40 Kg de peso y que opera a baja velocidad, aún para las condiciones de corrosividad y altas velocidades de viento de la Ciudad de Punto Fijo, donde se colocó el equipo.

Para evitar las perturbaciones en las corrientes de viento por efecto de las edificaciones cercanas al lugar donde se ubicó la aerobomba, el rotor se instaló sobre soportes de tendidos eléctricos a una altura de 6 m. Los detalles de la turbina, la torre de sustentación y el sistema de bombeo se puede apreciar en la fotografía que se muestra en la figura 15.



FIGURA 15. Aerobomba Savonius construida con recipientes de aceite donde se pueden observar detalles de la torre de sustentación y los soportes de la turbina

Con el fin de realizar pruebas de eficiencia y cálculos de la potencia producida y velocidad de operación, se construyó otra turbina Savonius, esta vez de doble perfil aerodinámico (conjunto de dos turbinas desplazadas a 90 grados), ver fotografía que se presenta en la figura 16, obteniendo como resultado que opera a menor velocidad, pero produce mayor potencia, facilitando el vencimiento del par de arranque bajo condiciones de operación de la bomba a plena carga.



FIGURA 16. Aerobomba Savonius con doble perfil aerodinámico desplazado 90 °

Subsistema de bombeo y de transmisión

Para el subsistema de bombeo de la turbina Savonius se seleccionó una bomba de potencia del tipo reciprocante, horizontal, simplex de efecto doble. El diseño se fundamentó en el cálculo de la energía necesaria para permitir que el agua fluya a la carcasa, es decir, aquella energía expresada como la diferencia de altura en pies de líquido (en bombas reciprocantes generalmente se expresa en psi), sobre la presión de vapor

del líquido, y que es requerida en la succión de entrada de la bomba para llenar completamente el cilindro en la carrera de succión. Este valor, en las bombas de potencia, está en función de la velocidad de rotación, del diámetro del pistón, de las pérdidas por fricción a través de la cámara de bombeo y de las válvulas de succión.

La bomba se construyó utilizando un tubo de bronce de un diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada y de 30 cm de longitud para el cilindro, que se pulió en su interior para garantizar la menor fricción posible en el desplazamiento del pistón; se mecanizaron sus extremos para conectar dos tees del mismo diámetro para el acople de las válvulas check de succión y descarga.

Para elaborar el pistón se utilizó una barra de bronce (del mismo diámetro interior del cilindro), que se mecanizó para reducir el diámetro en unas pocas milésimas a fin de permitir su movimiento con cierta holgura dentro del cilindro; para lograr un sello hermético y así evitar el paso del fluido de una cámara a otra se le hicieron canales en un extremo del pistón donde se colocaron empaaduras de goma del tipo o'ring; finalmente se hizo una rosca por el extremo contrario al sello para acoplar el vástago que interconecta la bomba con el sistema de transmisión.

El sistema de transmisión del tipo biela – manivela, transmite el movimiento circular recogido en el eje vertical de la turbina, transformado en forma alternativa y en eje horizontal al pistón. Esto se logró acoplando la manivela en el extremo inferior del eje del rotor y fijando la biela sobre esta, para luego conectarla al vástago de la bomba; teniendo la precaución de que estuviera bien alineado para garantizar el movimiento rectilíneo del pistón, sin esfuerzo sobre el cilindro, para evitar resistencia al movimiento por efectos del roce y el desgaste prematuro del sello de goma.

AEROBOMBA POR COMPRESION DE AIRE ACCIONADA CON UNA TURBINA SAVONIUS

Los sistemas de bombeo eólicos que utilizan bombas reciprocantes sumergidas en los pozos de agua a profundidades variables (en la Península de Paraguaná por lo general a más de 40 m), presentan el inconveniente que al averiarse el diafragma de cuero del pistón (como se mencionó con anterioridad es el elemento más frágil de la bomba) por la acción de las arenas finas que entran al cilindro, debe ser repuesto en algunos casos con cierta frecuencia.

Para realizar el recambio de diafragma se debe sacar a la superficie la bomba, el tubo por donde se transporta el fluido a la superficie por lo general tubo interconecta el sistema de transmisión del rotor con el vástago de la bomba (cabilla lisa de 1/2 pulgada); operación que resulta laboriosa (por el peso del referido conjunto) y costosa puesto que involucra una cuadrilla de obreros especializados y el uso de herramientas y equipos adecuados para tal fin.

Cuando esta operación debe realizarse con frecuencia representa un alto impacto económico para los productores rurales (por lo general de escasos recursos), y una situación riesgosa puesto que puede determinar la pérdida de los cultivos por el tiempo que no se pueda bombear el vital líquido por la reparación, o porque no se cuente con los recursos económicos necesarios para arreglarla. Con el fin de resolver el problema descrito, se desarrolló un sistema con la unidad de bombeo ubicada en la superficie, que consiste en una aerobomba donde la turbina eólica (del tipo Savonius), acciona un cabezal de compresión que por ser libre de mantenimiento puede operar en eje vertical sin necesidad de utilizar mecanismos de transmisión diferencial.

El aire comprimido producido por la turbina es almacenado en un recipiente de alta presión para posteriormente transportarlo hasta el

nivel donde se encuentre el agua en el pozo, mediante una manguera de propileno. La manguera de propileno es introducida en el interior de un tubo o manguera de PVC (de diámetro variable que depende del caudal calculado, en este caso manguera de ½ pulgada), por el cual se transporta el agua a la superficie, lo cual asegura el suministro continuo mientras se cuente con suficiente viento que accione la turbina o exista aire comprimido en el depósito de almacenamiento.

El agua al mezclarse con el aire cambia su densidad (se hace menos densa), facilitando su transporte a la superficie; sin embargo, la presión del aire comprimido debe ser superior a la presión hidrostática dentro del pozo para asegurar la elevación del fluido, en este caso que se probó la aerobomba en un pozo de 56 m de profundidad, la presión debe ser superior a 44,81 psi.

En la fotografía que se presenta en la figura 17, se muestra la aerobomba Savonius por compresión de aire, donde se pueden observar sus diferentes elementos componentes: cabezal de compresión, depósito de aire comprimido (en azul), y la turbina eólica construida en aluminio, y la estructura de soporte instalada sobre un tráiler para facilitar su transporte durante la fase experimental de pruebas realizadas en pozos de agua ubicados en la Península de Paraguaná, con características de calidad de agua y profundidad muy diversas.



FIGURA 17. Aerobomba Savonius por compresión de aire construida en el Laboratorio de Energías No Convencionales del CITIP

El agua se eleva en un flujo coaxial al tubo de aire; se calculó la relación de inmersión para altura elevada (3,85 L /min), es decir 0,02 kg /s de aire consiguen elevar 9 kg /s de agua.

La turbina SAVONIUS, se construyó de aluminio, los álabes semicilíndricos de paso abierto de 2,44 m de altura y una relación de esbeltez de 3,7. Se unieron a dos discos colocados en la parte superior e inferior, conformando la estructura de la turbina. Los discos se hicieron de madera contraenchapada de 1 cm de espesor y dos tapas de aluminio conformando una especie de sándwich, con las dos tapas de aluminio en la superficie y la madera en el centro. En la parte superior y posterior del rotor (sobre el disco), se colocaron las puntas de eje que mediante rodamientos cónicos integran la turbina a la torre de sustentación.

El rotor de 5,79 m² de área de barrido desarrolla una potencia de 689 W a una velocidad de 7 m /s, con un torque de 32,5 Nm. El sistema propuesto puede ser utilizado para transportar fluidos en la superficie, como mecanismo que forme parte de un aire acondicionado, o en cualquier uso donde se requiera trabajar con aire o gas comprimido.

DESALINIZACIÓN DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR

En la Península de Paraguaná y otras zonas del Estado Falcón existen lugares con abundantes fuentes de agua, que por condiciones geológicas del suelo son salobres, o por sobre explotación se han contaminado con corrientes de agua salada que llenan los espacios dejados por el agua dulce en las corrientes superficiales y acuíferos subterráneos.

También se presenta el caso que en las zonas áridas y semiáridas de Falcón las fuentes de agua potable son muy escasas (subterráneas o superficiales) y por lo general las comunidades están ubicadas cerca del

mar, constituyendo el agua salada la única fuente de este vital líquido para la supervivencia humana; esta situación planteó la necesidad de iniciar una línea de investigación que mediante proyectos concretos abordara esta problemática en la búsqueda de soluciones factibles.

Dentro de este contexto, y “ teniendo como premisa el hecho que las tecnologías a desarrollar deben ser apropiadas al poblador de las zonas rurales y se deben fundamentar en el uso de fuentes renovables de energía “, se desarrollaron dos proyectos para la desalinización de agua aprovechando la energía solar abundante en la región, como se mencionó en la sesión introductoria de la presente memoria descriptiva, la radiación solar en esta parte de la geografía nacional es relativamente alta durante todo el año, con un promedio de $400 \text{ cal} / \text{m}^2 - \text{día}$, equivalente a $1.500 \text{ BTU} / \text{pie}^2 - \text{día}$, aproximadamente.

Se desarrollaron dos desalinizadores solares:

- Del tipo invernadero.**
- Por evaporación instantánea.**

DESALINIZADOR SOLAR DEL TIPO INVERNADERO

El desalinizador se diseñó por solicitud de la Alcaldía del Municipio Falcón para la Comunidad de Piedras Negras, ubicada en la parte más septentrional de Venezuela, para destilar agua salobre obtenida mediante bombeo de pozos subterráneos o directamente del mar, transportada por aerobombas hasta reservorios elevados que suministren por gravedad y en forma continua el agua a los destiladores solares del tipo invernadero (mediante un mecanismo de válvula accionada con un controlador de nivel, ubicado a la entrada del desalinizador). Para obtener 500 litros de agua por día (establecido

como requerimiento de una vivienda rural promedio de la comunidad de Piedras Negras), se requieren diez estanques con cubierta de vidrio de 2,22 m de ancho por 9 m de longitud para contar con un área de evaporación de 190 m².

Se descartó la posibilidad de bombear el agua directamente del mar en virtud de que se optimiza el proceso de desalinización al usar agua parcialmente tratada por la acción natural de los suelos al pasar por las arenas finas de las playas. Un desalinizador del tipo invernadero opera por el principio de destilación, al hacer cambiar de fase el agua salobre (por el calentamiento ocasionado por la absorción de la radiación solar), del estado líquido a vapor de agua, que luego se condensa para recogerla, apta para el consumo, en recipientes o en tuberías que la transporten a las instalaciones sanitarias, la cocina y otros lugares de la vivienda donde se va a utilizar.

Este tipo de desalinizador instalado en la región Nor-Occidental de Venezuela (a una latitud sobre los 11°), puede operar a una eficiencia promedio de 2,63 l / m² – día (Eficiencia determinada mediante cálculos teóricos y posteriormente corroborados experimentalmente en prototipos construidos en el Laboratorio de Energías No Convencionales del CITIP – UNEFM), a una temperatura ambiental promedio entre 27 – 37 °C; una evaporación de 3.200 mm / año (8,76 mm / día); y una insolación entre 5,0 y 6,0 kW-h / m²-día. El área de evaporación de 190 m², se calculó dividiendo la demanda estimada de agua (500 L/día), entre la eficiencia (2,63 L/ m² – día).

Geometría de diseño

La geometría del desalinizador está conformada por el techo (placa plana de dos aguas, donde se emplea el elemento más crítico a utilizar en el sistema constructivo, en este caso las láminas de vidrio), y el estanque de poca profundidad sobre el cual va montado el techo. Para

cumplir con las especificaciones establecidas sin necesidad de cortar las láminas de vidrio, se pueden usar cuatro para obtener 9,00 m que corresponde a la longitud requerida, que está dentro de lo establecido por la norma.

Si se utilizan láminas de 1,00 x 2,25 m, se requieren doce invernaderos y diez si se emplean láminas de 1,20 x 2,25 m; por razones de economía y para simplificar la estructura se elige construir 10 invernaderos con láminas de 1,20 x 2,25 m; requiriéndose 80 láminas para cubrir la superficie colectora de 190 m².

Estructura de soporte de las láminas de vidrio

Estudios realizados por el Laboratorio de Corrosión del Centro de Investigaciones Tecnológicas de la UNEFM, han determinado que los niveles de corrosión en la Estación Experimental ubicada en la Voz de Venezuela, a pocos kilómetros de distancia de Piedras Negras, es del orden de las 860 micras / año; lo que indica que es una zona de muy alta corrosividad, si se compara con otras estaciones de prueba ubicadas en el Estado Falcón: Punto Fijo 63, Coro 2 y Churuguara 2 micras / año.

Por la razón antes expuesta se debe construir la estructura del desalinizador con materiales lo menos corrosivos posibles, por lo que se descarta la posibilidad de usar estructura metálica. Ante la dificultad de conseguir en el mercado local materiales sustitutos del metal a bajo costo, se plantea la posibilidad de usar concreto armado, con una resistencia de 250 kg / cm².

Canales de captación, canales de recolección de aguas de lluvia; tanques de almacenamiento de agua salobre

Al igual que la estructura, los canales de recolección del agua desalinizada, los canales de recolección de aguas de lluvia y los tanques

de almacenamiento de agua salobre que conforman la superficie colectora de la radiación solar, deben ser construidos de concreto armado con las mismas especificaciones de resistencia, además se debe tomar en consideración las siguientes especificaciones técnicas:

1. La estructura de acero que conformaran los canales de recolección y los estanques se debe construir con malla electro soldada de 5,6 mm de diámetro; el concreto deberá tener un recubrimiento de 5 cm. sobre la malla de acero.
2. Los pisos de los estanques se deben construir con malla electro soldada colocada sobre el suelo y también se tendrá que tener la precaución de recubrirla con concreto con un espesor superior a los 5 cm, puesto que estos van a contener agua salada.
3. El concreto debe ser elaborado con cemento, arena lavada, piedra picada n° 1; con una relación agua-cemento de 0,40, utilizar plastificantes especiales: súper plastificante con incorporadores de aire (FONDONORMA, COVENIN – MINDUR 2003 – 86).

Con fines experimentales se construyó en el laboratorio de Energías no Convencionales del CITIP – UNEFM, un prototipo a escala con el fin de determinar la eficiencia del desalinizador y así extrapolar las variables de estudio en el proceso de diseño de la planta de desalinización con energía solar proyectada para la Comunidad de Piedras Negras. Ver figura 18.



FIGURA 18. Prototipo experimental instalado en el Laboratorio de Energías No Convencionales, CITIP – UNEFM

Ubicación del desalinizador solar del tipo invernadero

El desalinizador se debe ubicar en un lugar donde no existan arboles altos o edificaciones que interrumpan el paso de la radiación solar, y el área de captación debe estar ubicada hacia el sur si se encuentra en el hemisferio norte y al contrario si está en el hemisferio sur. Para que este opere durante todo el año sin necesidad de moverlo, otra consideración importante es que al desarrollar el diseño la inclinación del techo de vidrio debe tener una pendiente equivalente a la diez (10) grados más la latitud del lugar, en el caso de la Piedras Negras 10° más 12° de latitud norte igual a 22 grados de inclinación, lo que garantiza mayor eficiencia en su funcionamiento y operatividad durante todo el año, esto es recomendable hacerlo en lugares cercanos al Ecuador donde no se presentan las cuatro estaciones y se puede tomar un ángulo fijo, en otros

países donde ocurren las cuatro estaciones el ángulo se calcula sumando 10° en invierno a la latitud o restando 10° a la latitud en verano. Este ángulo se determina para compensar el eje de rotación de la Tierra que está inclinado unos $23,5^\circ$ aproximadamente con respecto al plano de la órbita que describe alrededor del Sol.

DESALINIZADOR SOLAR POR EVAPORACIÓN INSTANTÁNEA

La selección del sistema de desalinización va a depender de la relación costo – beneficio/eficiencia, así como de la factibilidad de construcción. De los diferentes sistemas existentes el del tipo invernadero resulta ser el más sencillo y económico, sin embargo presenta la desventaja de su bajo rendimiento ($2,63 \text{ L/m}^2\text{-día}$, en la Península de Paraguaná). Después de estudiar las diferentes alternativas tecnológicas, se seleccionó la evaporación relámpago o tipo flash en múltiples etapas con tubos sumergidos porque presenta las siguientes ventajas:

- De acuerdo a su complejidad tecnológica, presenta un sistema de fácil construcción y análisis termodinámico y químico sencillo, representando una alternativa válida para obtener grandes volúmenes de agua.
- Es económico porque puede usar una fuente de energía gratuita como es la energía solar, además requiere un mínimo mantenimiento por lo cual disminuyen los costos indirectos.
- Es altamente eficiente porque puede aprovechar toda la energía suministrada, ya que hay un mínimo de pérdidas de calor en el sistema.

Descripción del desalinizador

Consta de dos evaporadores y dos condensadores; al primer evaporador llega el agua salobre (previamente calentada en un banco de colectores cilíndrico – parabólicos), mediante un dispositivo nivelador que permite controlar la cantidad de agua en los evaporadores. Los evaporadores se construyeron con recipientes de lubricantes de 208 L de capacidad; en el primer evaporador se insertó además un serpentín por donde circula aceite blanco mineral calentado en un banco de lupas.

En el segundo evaporador se instaló un intercambiador de calor conformado por cinco tubos de cobre N° 14 BWG de 1 pulgada de diámetro y 42 cm de longitud, colocados perpendicularmente a dos tubos de cobre N° 14 BWG de 1 ½ pulgada de diámetro y 50 cm de largo.

Este intercambiador está conectado con un cierto ángulo de inclinación con respecto al fondo del evaporador para aprovechar la caída del vapor proveniente de primer evaporador en forma natural y sumergido en el agua salobre para elevar la temperatura hasta obtener vapor de agua.

En el primer condensador de 80 litros de capacidad (recipiente de aceite cortado a 2/3 de su altura), se instaló un intercambiador de calor conformado por ocho tubos de cobre de 1 pulgada de diámetro y 35 cm de longitud, colocados perpendicularmente a dos tubos de 1 ½ pulgada, en sus extremos paralelos y equidistantes a lo largo de 50 cm, por el cual circula el vapor producido en el segundo evaporador. Este intercambiador de calor está colocado sumergido en agua salobre en el fondo del condensador.

El segundo condensador interconectado en serie (de manera de obtener la mayor condensación posible), consiste en un intercambiador de calor de las mismas características del anterior pero construido con tubos de

70 cm de longitud, sumergido en el agua salobre de enfriamiento contenida en el condensador (que se precalienta para introducirla al primer evaporador).

Principio de funcionamiento

Los evaporadores se cargan con agua salobre que proviene de la fuente y que ha sido calentada en el banco de colectores cilíndrico – parabólicos, a un nivel de 45 cm por arriba de los intercambiadores de calor. Al entrar el agua caliente al evaporador entre 60 y 80 °C, por efectos de la presión de vacío se evapora (en presencia de vacío el agua cambia de fase líquida a vapor a menor temperatura, no requiere llegar a la temperatura de ebullición), dejando los componentes sólidos en la salmuera ubicada en el fondo. Para hacer el vacío se utilizó una pequeña bomba de vacío desechada de un laboratorio que en este caso era accionada por una turbina eólica tripala.

Para compensar las pérdidas de temperatura en la salmuera por efectos de la expansión en el primer evaporador y asegurar que el fluido que entre al segundo evaporador cuente con suficiente temperatura para que ocurra la evaporación, se instaló un serpentín por el cual circula aceite calentado con un banco de lupas que concentra el haz de radiación solar sobre la superficie del tubo de cobre por donde recircula el aceite con una bomba accionada por un motor que funciona a 12 V DC accionado por paneles fotovoltaicos, en este caso se utilizó un motor automotriz de los utilizados para hacer mover los limpia parabrisas delanteros.

Para ubicar el campo de lupas en la dirección de la radiación solar se desarrolló un sistema automático de seguimiento de la trayectoria del sol, la incidencia en forma continua de la radiación solar y la circulación permanente del aceite permiten que se mantenga una temperatura constante en el sistema para no producir desequilibrios

térmicos. A efectos de la investigación se utilizaron lupas de cristal y lupas fresnel a fin de probar su eficiencia en la transmisión de calor.

En cada evaporador hay una salida por la parte inferior con una válvula de retención para el desalojo de la salmuera, para evitar la excesiva concentración de sales y para controlar las incrustaciones que corroan el metal, aun cuando a estos recipientes se les realizó un proceso de protección con pinturas especiales que no produzcan contaminación en el agua para el consumo humano.

Los condensadores se llenan hasta completar su capacidad con agua fría proveniente del tanque de almacenamiento de agua salada o salobre de acuerdo a la fuente de suministro, de manera que, por transferencia de calor se condense el vapor que pasa por los tubos y caliente el agua contenida en el recipiente de alimentación de los colectores solares, de tal forma que llegue a estos con cierta ganancia de calor para que aligere el proceso de operación en ciclo cerrado, que permite el aprovechamiento máximo del calor generado, aumentando considerablemente la eficiencia del sistema.

La capacidad de los evaporadores se calculó determinando la velocidad de transferencia de calor a través de los diferentes componentes, el coeficiente global de transferencia de calor, el número de Reynolds, de Nusselt y de Prandtl; obteniendo como resultado parámetros de diseño tales como el área de transferencia de los evaporadores, la longitud del serpentín y de los intercambiadores de calor; así como variables de operación (caídas de presión, temperaturas de trabajo, etc.).

CALENTAMIENTO DE AGUA MEDIANTE COLECTORES SOLARES

Para suministrar agua caliente a la vivienda rural o estación de vigilancia costera y para la desalinización de agua por evaporación instantánea, se hace necesario contar con equipos, que aprovechando la radiación solar incidente en superficies colectoras, caliente el agua potable salobre a diferentes temperaturas de acuerdo al uso y parámetros de operación establecidos. Este objetivo se cumplió con el desarrollo de dos prototipos experimentales:

- Un banco de calentamiento de agua mediante la utilización de colectores cilíndricos parabólicos.
- Un calentador de agua con un colector solar plano.

CALENTADOR SOLAR CON COLECTORES CILÍNDRICO PARABÓLICOS Y BANCO DE LUPAS

Para obtener niveles de temperatura superiores a los 80 °C en el agua salada para ser procesada en desalinizadores no convencionales, se diseñó y construyó un banco constituido por seis colectores cilíndrico parabólicos conectados en serie, que consisten en un concentrador de la radiación solar que incide sobre una superficie formada por espejos o laminas metálicas brillantes que la reflejan sobre un tubo ubicado a lo largo de su línea focal y cuyo corte transversal describe una parábola.

Estos colectores utilizan la radiación directa para transformarla en calor, llegando a producir altas temperaturas (dependiendo de la exactitud del diseño), por lo general son utilizados para producción de vapor de agua, destilación de agua salada, en instalaciones de aire acondicionado, para la generación de energía eléctrica o el accionamiento de motores (por lo general motores Stirling). La temperatura producida va a depender del

tipo de superficie reflectora, y del arreglo seleccionado para conectarlos (en serie o en paralelo).

Por lo general, se utiliza la configuración en serie puesto que se consigue una mayor captación de energía y por ende una mayor eficiencia; sin embargo hay que tener en cuenta que los materiales utilizados en la construcción deben ser lo suficientemente fuertes para soportar altas temperaturas, especialmente en los últimos colectores de la serie. Para un mejor aprovechamiento de la energía solar la superficie captadora de los concentradores cilíndricos parabólicos, debe ubicarse en un plano perpendicular a la radiación solar, para lo cual se requieren sistemas de seguimiento de la trayectoria del sol durante el día para asegurar el adecuado posicionamiento del colector.

El sol tiene dos movimientos aparentes; un movimiento de las coordenadas de este a oeste durante el día y un movimiento de interfase norte sur durante el año, lo que determina el solsticio de verano, los equinoccios y el solsticio de invierno. La posición aparente del sol sobre la esfera celeste se determina por medio de las coordenadas horizontales o ecuatoriales, que vienen representadas por la altitud y el azimut.

Descripción del calentador solar desarrollado

El sistema de calentamiento de agua salobre con energía solar está configurado en dos etapas:

Etapas I, está compuesta por un banco de seis colectores cilíndrico – parabólicos instalados en serie, con un área de captación de $1,9 \text{ m}^2$ cada uno, la superficie colectora se compone de 14 espejos de 5 cm por 1,80 m de longitud, dispuestos uno al lado del otro conformando la parábola a lo largo de la línea focal, donde se ubica un tubo de cobre de $1 \frac{1}{2}$ pulgada de diámetro por donde circula el agua que se va a calentar, el

tubo al ser pintado de negro mate aumenta la absorción de la reflexión solar emitida por los espejos. En la figura 19 se muestra el banco de colectores cilíndrico parabólicos.



FIGURA 19. Banco de colectores cilíndricos – parabólicos instalados en serie, Laboratorio de Energía No Convencionales CITIP/UNEFM

Etapa II se calienta aceite blanco mineral que tiene una viscosidad de $0,0000173 \text{ m}^2/\text{s}$ una densidad de $917,21 \text{ kg} - \text{s}^2/\text{m}$ y su densidad relativa de $0,90$. El aceite contenido en un recipiente rectangular de 77 cm de longitud, $25,8 \text{ cm}$ de ancho y 4 cm de alto (que hace las veces de un intercambiador de calor), es calentado por la incidencia de los rayos solares concentrados sobre la superficie del tanque por un campo de lupas, compuesto por seis lupas de 4 pulgadas de diámetro y 5 aumentos, dos lupas de 2 pulgadas - 3 aumentos y una rectangular tipo fresnel de $8 \frac{1}{2}$ por 11 pulgadas; colocadas a su respectiva distancia focal y direccionadas de la forma más adecuada, a fin de lograr una

incidencia focal óptima, que permita la mayor concentración de la radiación solar posible y por ende un mayor calentamiento del aceite.

El aceite caliente es recirculado con una pequeña bomba que opera en 12 V DC, alimentada con dos módulos fotovoltaicos de 25 W, en un circuito cerrado que va desde el recipiente de aceite hasta el serpentín ubicado sumergido en agua salobre en el interior del primer evaporador de la planta de desalinización por evaporación instantánea. Detalles del tanque de aceite, banco de lupas y paneles fotovoltaicos de 25 W se pueden observar en la figura 20.



FIGURA 20. Sistema de circulación y Calentamiento de Aceite con Lupas Ópticas y Fresnel

Como se explicó anteriormente, los colectores cilíndricos – parabólicos tienen la particularidad que deben ser orientados con la superficie captadora perpendicular a los rayos solares incidentes sobre la misma, por lo que se hizo necesario diseñar y construir un subsistema automático de seguimiento del sol basado en principios de funcionamiento electromecánicos; conformado por nueve módulos:

Detector, temporizador, de seguimiento, de procesamiento de señal, rectificador de arranque, inversor de rotación, de control final de recorrido y un módulo moto-reductor posicionador del colector solar y de campo de lupas.

Al inicio del día el subsistema de orientación se encuentra orientado hacia el este, al salir el sol la celda detectora percibe la presencia de luz solar, encargándose de activar los mecanismos que lo conforman iniciando su funcionamiento. Para evitar que el módulo de seguimiento solar se active y busque en la dirección oeste, en una posición adelantada a la trayectoria del sol, se dispuso de un módulo temporizado que pondrá en funcionamiento el subsistema en el momento en el cual la incidencia de la luz sea perpendicular a la superficie de la celda detectora ubicada en el interior de un cañón de resguardo y de concentración del haz de luz; después de este evento el módulo de seguimiento iniciará su función de rastreo continuo del sol.

El seguimiento se produce porque la celda se pone en posición OFF solo cuando la luz incide sobre ella, deteniendo el colector en esta posición; una vez que se desenfoca (la celda deja de percibir la luz) ocurre la activación (posición ON), transmitiendo la señal necesaria para que el moto-reductor posicione los colectores y el banco de lupas en dirección al sol (en dirección oeste). Este proceso se ejecuta tantas veces sea necesario durante el día.

El final del recorrido ocurre cuando el concentrador llegue al tope (extremo oeste), donde se ha colocado un micro-switch que desactiva el sistema e invierte la polaridad del motor para que regrese el subsistema a la posición inicial con un movimiento inverso (oeste – este), para ponerse en posición adecuada para el inicio de operaciones el siguiente día.

Por lo general en sistemas de orientación para la generación fotovoltaica se utilizan sistemas de ubicación en dos o tres ejes

utilizando servomotores cuya adquisición reviste un costo elevado además de ser tecnológicamente complejos. Como los prototipos desarrollados en el CITIP/UNEFM tienen como objetivo ser transferidos a comunidades rurales, indígenas o urbanas desasistidas, por lo general de poca capacidad adquisitiva y nivel tecnológico, se planteó diseñar y construir un mecanismo sencillo y económico, para lo cual en vez de utilizar un motor paso a paso se utilizó un motor de aplicación automotriz de corriente directa en 12V accionado por los paneles solares y para lograr la velocidad deseada se utilizó como reductor un rin de bicicleta para que por cada giro del motor el mecanismo de ubicación de la superficie colectora de calentador cilíndrico-parabólico se desplazara 5 grados, lo cual se logró con gran exactitud gracias al sistema electrónico de control.

En la figura 21 se puede observar el cañón dirigido verticalmente en dirección del sol que contiene la fotocelda y hace incidir los rayos solares perpendiculares a su superficie, la transmisión del reductor constituido por el rin de bicicleta y el motor de 12 V de corriente continua accionado por paneles solares.



FIGURA 21. Sistema de seguimiento automático del sol y de transmisión de movimiento a los colectores cilíndrico – parabólicos

CALENTADOR DE AGUA DE COLECTOR SOLAR PLANO

Los colectores planos tienen la particularidad de que aprovechan la radiación solar directa y la difusa. La radiación directa es aquella que procede del sol sin interrupción, mientras que la difusa es la energía radiante emitida por los componentes de la atmósfera como las nubes, los gases y el polvo. La radiación solar varía según la duración del día, el ángulo formado por la tierra y los rayos del sol, la longitud de onda, el tipo de camino recorrido por los rayos del sol a lo largo de la atmósfera, la cantidad de nubes, la localización geográfica, la altitud y el clima.

Para cielos nublados, las magnitudes relativas de difusión y radiación directa varían durante el día con el ángulo del Zenit. La proporción también depende del agua, dióxido de carbono o polvos contenidos en la atmósfera. La radiación solar directa es 10 veces más alta que la difusa, cuando el sol está cerca del horizonte emite un 90 % de energía directa. La radiación difusa durante los días cubiertos, excede a la directa en cualquier momento del día y comprende sólo un 10 % de la energía emitida por el sol.

El colector plano de 1 m de ancho x 2,20 m de largo (se utilizó esta dimensión que da la medida estándar de la lámina de vidrio, 2,20 m² de superficie colectora), se construyó con un serpentín construido con tubo de cobre con diámetro 1/8 de pulgada, instalado en una caja metálica construida con una lámina de hierro galvanizado, que contiene el serpentín todo el conjunto pintado de negro mate para obtener buena conductividad térmica y aumentar la absorción de calor. La chapa metálica transmite el calor absorbido de la radiación solar incidente al fluido que circula por el serpentín de cobre incrementando su temperatura; al mismo tiempo el colector cede calor por convección al aire exterior y a la estructura de soporte.

En el marco superior de la caja metálica (sobre la superficie receptora), se colocó un vidrio transparente creando un recipiente hermético; la luz del sol de longitud de onda menor de $2,5\mu$ pasa a través de esta cubierta y la radiación infrarroja (de gran longitud de onda) no puede volver a salir a través del vidrio produciendo una gran ganancia de calor (efecto invernadero). La tapa transparente enfriada por el aire exterior y las capas de aire contenidas en el interior son malos conductores del calor y se encuentran a una temperatura inferior que la superficie receptora, de esta manera se forma una especie de aislante térmico, evitando las pérdidas de calor.

El colector plano se instaló sobre una base de soporte con una inclinación de 10° más la latitud del lugar (11° en la ciudad de Punto Fijo), es decir se inclinó 21° con respecto al plano horizontal de la base colocada sobre el piso en la dirección Norte – Sur (superficie colectora ubicada al sur). Por estar Venezuela ubicada en el hemisferio norte, el sol se ve al sur; de allí la ubicación del plano receptor del colector (superficie de vidrio) en posición sur. Y con el ángulo descrito de acuerdo a las consideraciones hechas en el diseño del desalinizador del tipo invernadero; de tal manera que la superficie receptora recoja la radiación solar incidente en el movimiento del sol durante el día en la dirección Este – Oeste.

El agua fría proveniente de la vivienda se almacena en un recipiente aislado cuya capacidad va a depender de la superficie del colector solar (100 litro por cada m^2 de área colectora), y ubicado a una altura no menor de 60 cm por arriba de la parte superior del colector (para no tener que utilizar bombeo), el recipiente en una vivienda debe estar ubicado al menos un metro por arriba de la ducha, que es el elemento donde el agua de consumo para diferentes usos llega más alto y de esta forma garantizar el suministro por gravedad, al tomar en cuenta las pérdidas por distribución sobre todo existen conexiones tales como codos o tees.

El agua fría se introduce al serpentín por la parte inferior, y se va calentando a medida que sube hasta el recipiente por efecto del cambio de densidad producida por el aumento de temperatura, es decir asciende venciendo la gravedad sin necesidad de emplear sistema de bombeo, este fenómeno recibe el nombre de “principio de termosifón“. El agua caliente se introduce por la parte superior de recipiente de almacenamiento donde se mezcla con el agua fría (el agua caliente cede calor a la fría hasta alcanzar un estado de equilibrio).

Este sistema de calentamiento de agua presentó una eficiencia determinada por una elevación de la temperatura del agua comprendida entre 40 y 60 °C, en presencia de una temperatura ambiental de 30 a 35 °C. Se asegura en la Península de Paraguaná el suministro de agua caliente por lo menos 10 horas al día (en condiciones atmosféricas favorables, determinadas por cielo despejado y un aislamiento térmico adecuado del recipiente de almacenamiento de agua caliente).

Por lo que resulta ser una alternativa válida, más aún cuando los principales costos de energía en una vivienda rural están determinados por el uso de cargas resistivas de alto consumo eléctrico o el empleo de gas metano o propano de alto valor comercial, empleados en el calentamiento de agua. En la figura 22 se puede observar el prototipo experimental construido en el CITIP; no se realizó aislamiento térmico al recipiente de agua caliente por no considerarlo necesario, ya que por la alta radiación solar incidente en el lugar durante todo el año se obtuvieron niveles de temperatura por arriba de los requeridos, llegando en una oportunidad hasta los 60 °C.



FIGURA 22. Calentador de agua con colector solar plano

PRODUCCIÓN DE BIOGAS MEDIANTE DIGESTORES ANAERÓBICOS

Se pueden producir gases o líquidos combustibles a partir de la biomasa, tal como los desechos humanos o de animales, residuos agrícolas, forestales y plantas acuáticas. Estos gases o líquidos pueden ser usados como combustible de motores y para la cocción de alimentos. Los dos tipos principales de tecnologías para la conversión

de la biomasa para la producción de gases o líquidos combustibles son la conversión bioquímica y la conversión termoquímica.

La conversión bioquímica, o digestión, de biomasa orgánica es un proceso natural que involucra varios procesos bacterianos y enzimáticos simultáneamente. Cuando ocurre en un ambiente libre de oxígeno, la digestión es anaeróbica y se produce gas combustible, conocido como biogás. Líquidos ricos en energía, tales como los alcoholes, etanol y metanol, son producidos por otro proceso bioquímico de conversión de biomasa, llamado fermentación.

La conversión termoquímica, de la biomasa ocurre cuando es calentada en ausencia parcial o total de aire. Los procesos principales que ocurren son la pirólisis, en la cual el material de la biomasa es transformado mediante calentamiento, y gasificación, en el cual se produce un gas debido a la combustión incompleta de la biomasa que ha sido calentada. El gas combustible que se produce consiste en una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y metano, es conocido como gas de producción.

El método más común de producción de biogás es la digestión anaeróbica en un tanque cerrado llamado **“digestor”**. La biomasa se mezcla en el digestor con agua para formar una suspensión, en la cual la digestión anaeróbica se realiza en dos pasos. En el primer paso, llamado licuefacción, la materia orgánica es descompuesta por hidrólisis enzimática y fermentada para producir principalmente ácidos y alcoholes. Seguidamente, en la etapa de gasificación, las bacterias metanogénicas rompen los ácidos y los alcoholes, para producir metano y dióxido de carbono, y pequeñas cantidades de otros gases, tales como monóxido de carbono, nitrógeno u ácido sulfhídrico (CINARA 1990).

El biogás contiene aproximadamente un 60 % de metano y 40 % de bióxido de carbono; la pequeña cantidad de ácido sulfhídrico da al gas

un olor de huevos en descomposición. El valor calorífico del biogás está entre 20 y 30 MJ de energía calórica por m³ de gas. El biogás se produce únicamente si se excluye el aire del digester de forma tal que se pueda desarrollar la condición anaeróbica. En consecuencia, el tanque del digester debe estar herméticamente cerrado. En la figura 23 se puede observar el esquema de un biodigestor anaeróbico de domo fijo.

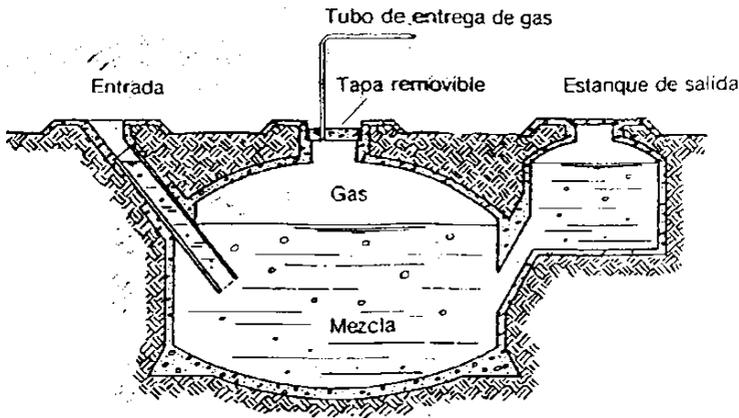


FIGURA 23. Biodigestor anaeróbico de domo fijo.

Fuente: Centro Inter – Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua (CINARA), Cali, Colombia. 1990.

En el Laboratorio de Energías No Convencionales se desarrolló una planta de producción de biogás simple construida con una batería conformada por contenedores (recipientes de aceite lubricante de 208 litros de capacidad), llenando la batería de tambores uno después del otro con biomasa mezclada con agua, ver figura 24.

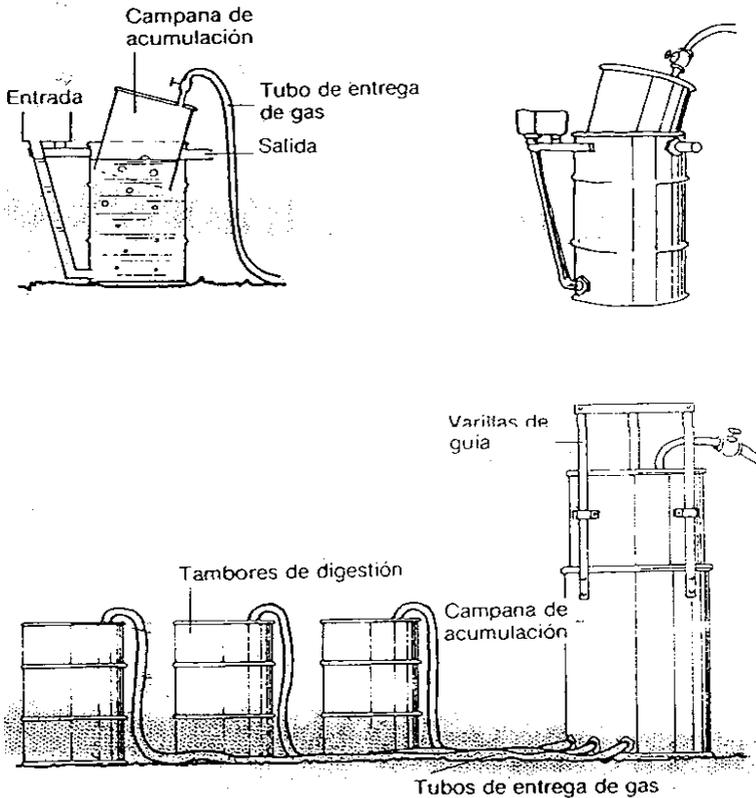


FIGURA 24. Batería de biodigestores anaeróbicos contruidos con recipientes de aceite.

Fuente: Centro Inter – Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua (CINARA), Cali, Colombia 1990.

A los recipientes metálicos se les adaptó un tubo para la descarga del biogás producido con su correspondiente manómetro de medición y una válvula de control. Se cargaron por el tapón de llenado con diversos tipos de material biodegradable (estiércol de ganado vacuno, de cerdo, desechos de comida, y algas).

Para almacenar el gas metano producido en el proceso de degradación de la materia orgánica se usó una campana de recolección construida con medio tambor tapado por una de las partes donde se conectó el tubo para el transporte del gas metano y sin tapa por la otra, esta campana flota sobre el agua contenida en el otro tambor, utilizarlo como tanque de agua, el cual está colocado sobre el suelo.

Para que la campana de recolección pueda flotar sobre el tanque colocado sobre el suelo sin que se mueva hacia los lados se instalaron dos soportes fijos en los laterales del tanque ubicado a 180° el uno del otro y dos abrazaderas en la campana ubicadas en la misma posición que los soportes del tanque, las abrazaderas introducidas dentro de las guías de soporte permiten la flotación y movimiento vertical de la campana, ascendiendo por efecto de la presión del gas cuando se está llenando y descendiendo al reducirse el volumen de gas por el consumo. El agua contenida en el tanque cumple además la función de sello para lograr un cerramiento hermético y de esta forma evitar el escape del gas almacenado.

Cabe mencionar que una experiencia preliminar fue desarrollada por el autor de la presente monografía con el reconocido tecnólogo popular Venezolano Don Luis Zambrano, en su casa taller ubicada en la Aldea Mesa de Adrián, Bailadores del Estado Mérida. Se configuró un banco de baterías construido con recipientes de aceite de 208 litros; para almacenar el gas producido se probaron varias alternativas dando buen resultado los balones de caucho de neumático de automóvil (comúnmente llamados tripas), que se llenaban con gas metano y luego se conectaban al sitio de consumo.

Don Luis, para la producción de este combustible, introducía un volumen de agua equivalente a un tercio del barril; otro tercio correspondía al material biodegradable licuado; el último tercio, vacío, debía ser ocupado por el gas resultante de la biodegradación. Con el fin

de controlar la producción de gas, conectó un tubo de ½ pulgada en el orificio pequeño del barril, con su respectiva llave de paso que permitía la salida regular del metano hacia la tripa y un manómetro para determinar el momento oportuno de extraer el gas del biodigestor.

Mediante diversas pruebas estableció cuál era la presión óptima para la extracción del gas; además, pudo constatar que la concha del repollo y el estiércol de ganado porcino arrojaban mayor rendimiento que otros productos que había utilizado para fines de prueba. En la figura 25a se puede observar un esquema grafico de este digestor.

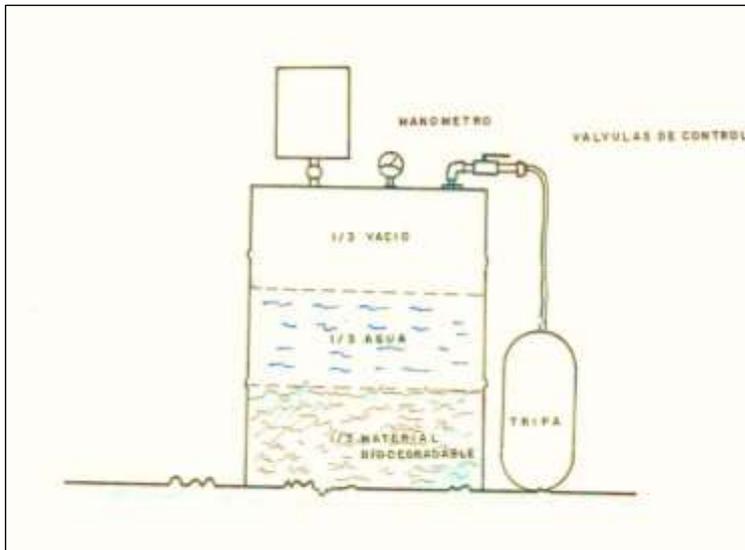


FIGURA 25ª. Esquema del digestor desarrollado por Don Luis Zambrano

En la realización de estos ensayos se le presentó un problema que estaba relacionado con la influencia de la temperatura ambiental en la eficiencia del proceso, ya que la obtención del gas se lograba regularmente durante el día, mientras que era retardada durante la noche, como consecuencia del drástico descenso de temperatura en el páramo merideño (la descomposición anaeróbica se favorece al contarse con mayores temperaturas porque incrementa el crecimiento de las

baterías metano génicas); problema que resolvió cubriendo el biodigestor con bagazo de caña; este aislante lo sostuvo con láminas de zinc adecuadamente amarradas como se puede evidenciar en la figura 25b.



FIGURA 25b. Biodigestores anaeróbicos contruidos con recipiente de aceite, experiencia desarrollada por el autor de la presente memoria descriptiva conjuntamente con Don Luis Zambrano en su casa-taller-molino en la Aldea de Mesa de Adrian. Bailadores, Estado Mérida 1982.

A través del convenio de cooperación suscrito entre FUSAGRI y la Secretaría de Desarrollo Agrícola de la Gobernación del Estado Falcón, donde participó la UNEFM, se dictaron talleres de formación donde se construyeron digestores circulares de domo fijo, de los usados en la China, los cuales han sido ampliamente divulgados y contruidos a través de diversos programas de cooperación internacional emprendidos por Gobiernos Europeos, especialmente por Alemania a través de la Agencia Internacional de Cooperación de la República Alemana para la

Cooperación Técnica (GTZ), que mantuvo presencia en el Estado Falcón principalmente en la Sierra Falconiana con los talleres y proyectos desarrollados por organizaciones comunitarias con la asesoría de Dierk Deman (GTZ), y posteriormente por uno de sus alumnos, Edgar Olivett, dirigente, emprendedor y asesor comunitario de la Sierra Falconiana.

La mayoría son unidades familiares utilizadas en granjas, de 6 a 10 m³ de capacidad, que producen de 1 a 2 m³ diarios de biogás (del 10 al 20 % del volumen del digester), proveniente de residuos tales como excretas de humanos o animales, a los cuales se agrega un poco de material vegetal.

El digester de domo fijo es por lo general construido con ladrillos macizos de arcilla o bloque de cemento rellenos, no tiene partes metálicas a excepción de un pequeño tramo de tubería de hierro galvanizado y de cobre que se utiliza para entregar el gas al usuario. Se requiere de un nivel regular de conocimientos técnicos para la elaboración de este tipo de digester.

Su construcción reviste cierto costo porque lleva implícito un movimiento de tierra donde se fabrica el domo, y su posterior relleno (con la tierra obtenida de la socavación). Posteriormente se debe realizar la compactación por la parte externa, con cierto nivel de presión para asegurar que se cuente con suficiente resistencia a las altas presiones internas que se generan por degradación de la materia orgánica. Sin embargo, al igual que los demás sistemas que aprovechan fuentes renovables de energía, los costos de producción u operación son bajos, puesto que utilizan fuentes de energía renovables que no revisten costo alguno, amortizándose la inversión inicial en corto plazo, además que resuelve un problema de saneamiento ambiental al dar un uso productivo a desechos orgánicos en descomposición y disposición final de excretas humanas y animales y que genera como elemento residual

(además del gas metano) un bioabono líquido, alto en nutrientes y que no produce malos olores, el cual puede ser utilizado para la fertilización de los cultivos. El control de presión del biogás se hace con un manómetro no convencional que se puede observar en la figura No. 26.



FIGURA 26. Medidor de presión de biogás producido por el biodigestor y cocina doméstica funcionando con el gas metano producido en la digestión anaeróbica en una vivienda rural de la sierra de Falcón

REFRIGERADOR ACCIONADO CON UN AEROGENERADOR

Los productores rurales de la Península de Paraguaná, obtienen de su trabajo diversos productos agrícolas y pecuarios para su consumo o para la venta, algunos de estos productos son perecederos en corto tiempo, por lo que se hace necesario refrigerarlos para evitar su descomposición mientras se consumen o llegan al mercado (principalmente los productos lácticos y cárnicos), lo cual es difícil o casi imposible de hacer en lugares retirados o aislados donde no llega la energía eléctrica por medios convencionales.

Por tal razón se diseñó y construyó un sistema de refrigeración eléctrico accionado con el aerogenerador de 1,5 kW de potencia (descrito en el ítem 1.1.), haciéndole adaptaciones en el sistema de transmisión; básicamente se cambió el doble tren construido con caterinas y piñones por una transmisión conformada por un solo tren de piñón y engranajes helicoidales.

También se desarrolló un proyecto donde se probó una turbina eólica para accionar el compresor del sistema de refrigeración directamente sin utilizar componentes eléctricos, sin embargo por efectos de complejidad técnica y costo, se decidió accionarlo con motor eléctrico alimentado por un banco de baterías cargadas con el generador híbrido fotovoltaico-eólico.

Diseño del refrigerador

El diseño del refrigerador requerido por una vivienda rural media se inició con la estimación de la cantidad de productos alimenticios que requieren refrigeración, bien sea para el consumo diario de los habitantes de la vivienda, o productos agrícolas, lácticos y cárnicos destinados a la venta.

Posteriormente se calculó la carga del refrigerador, se seleccionó el compresor con capacidad para cubrir esta carga y se dimensionó el banco de baterías necesario para accionar el conjunto motor – compresor. Finalmente se verificó si el generador fotovoltaico-eólico tiene la capacidad de cargar el banco dimensionado de acuerdo al tiempo de uso del refrigerador.

Para saber qué cantidad de alimentos requieren refrigeración, se consultaron a varias familias del sector rural de la Península de Paraguaná; se determinó un promedio (en kilogramos) por tipo de alimento (destinado al consumo diario o para la venta).

Para fines de cálculo se consideró la cantidad máxima que se puede llegar a almacenar dentro del refrigerador, tomando como referencia dos veces de abastecimiento a la semana debido a lo distante de los centros de suministro.

La carga de refrigeración total (expresada en Btu / hr), se determinó tomando en consideración las diferentes fuentes de calor que tienen influencia sobre el sistema. Las fuentes de carga consideradas son:

- **Transmisión de calor:** se refiere a la diferencia de temperatura entre el ambiente exterior y la temperatura dentro del refrigerador (conducción de calor del ambiente hacia el refrigerador por la acción de la radiación solar).
- **Infiltración de aire:** es el aire caliente que entra al refrigerador al abrir la puerta cada vez que se requiera sacar o introducir un producto refrigerado.
- **Cargas de los productos:** provienen de los calores latentes contenidos en los productos que se introducen al refrigerador.
- **Cargas suplementarias:** Son cargas provenientes de fuentes como luminarias ubicadas dentro del refrigerador, del motor y el compresor, intercambiadores de calor o de las personas que usan el refrigerador.

Para determinar la carga por transmisión de calor se debió considerar la conductividad térmica, la densidad y la resistencia al paso del calor del material aislante a ser utilizado en la construcción del refrigerador; en este caso se seleccionó un refrigerador que utiliza como material aislante poliestireno expandido en capas de 2 pulgadas de espesor, que posee una resistencia de $4,17 \text{ }^{\circ}\text{F pie}^2 / \text{Btu por pulgada}$.

La carga del producto es cualquier ganancia de calor que se genera por los alimentos que se colocan en el espacio refrigerado; por lo general

los productos alimenticios vienen al refrigerador a una temperatura muy superior a la que se encuentra en el interior del congelador, principalmente en sectores rurales alejados de la fuente de suministro.

Para calcular la carga de refrigeración de productos alimenticios, sólidos y líquidos, es esencial saber sus puntos de congelamiento, calores específicos y el porcentaje de agua; además es importante conocer las temperaturas iniciales y las temperaturas a las cuales deben refrigerarse los alimentos para evitar su descomposición o pérdida de características como olor, sabor y textura. Las temperaturas iniciales se obtuvieron midiendo con un termómetro los alimentos a temperatura ambiente y las finales mediante consulta en bibliografía especializada.

El cálculo del calor sensible sobre congelamiento, calor latente de congelamiento y el calor latente bajo congelamiento se tiene que hacer para cada producto por separado. La suma de los calores calculados para todos los alimentos considerados da como resultado la carga total por productos.

Con la carga por transmisión de calor y la carga total por productos conocidas, finalmente se calcula la carga total del refrigerador, que resultó por el orden de **1.015,23 Btu / hr**. Sin embargo, como el tiempo de operación del compresor en estudio es de aproximadamente de 18 horas, es necesario recuperar el calor que dejó de absorber durante el tiempo que no estuvo activo, para lo cual se debe calcular la carga de refrigeración modificada, dividiendo la carga calculada en 24 horas entre el tiempo real de operación (18 horas), en este caso, la carga de refrigeración modificada es de **1.353,6 Btu / hr**.

Con los cálculos de carga realizados y tomando en consideración factores técnicos y económicos se seleccionó el compresor idóneo para satisfacer las necesidades de carga del refrigerador. En este caso se requirió un compresor de 1/2 hp, que funciona con corriente alterna de

110 V y 60 Hz. Como se genera y almacena energía eléctrica en 12 V DC, es necesario utilizar un inversor que asegure entregar la potencia necesaria para arrancar y operar el compresor; considerando una eficiencia del 90 %, se requiere un inversor de 450 W (que suministre los 373 W que consume el compresor y el 10 % de potencia que el mismo inversor requiere para producir los 450 W el inversor tiene que tener prevista la capacidad de vencer al momento que se inicia el movimiento el par de arranque bajo carga del compresor).

El dimensionamiento del banco de baterías determinó que para asegurar la operación continua del compresor con una autonomía de tres días se requiere un banco de **630 A/h**. Se seleccionó como la mejor opción, **utilizar 6 baterías estacionarias de gel libres de mantenimiento conectadas en paralelo de 200 A/h**, porque satisface perfectamente los requerimientos mínimos de carga del equipo y son las de más fácil consecución en el mercado nacional.

La turbina eólica del sistema de aerogeneración girando a 200 r.p.m. con vientos de 6 m /s, puede producir 70 A y una tensión de 13,5 V; por lo tanto la potencia nominal del sistema de generación es de **945 W**. Según las curvas de frecuencia y energía suministrada por el viento en la Ciudad de Coro lugar más cercano al emplazamiento de la turbina, registrado en el compendio eólico de Venezuela, se cuenta con aproximadamente 18 horas de viento al día con velocidades superiores a 6 m en la localidad, lo que determina una capacidad de carga del generador eólico de **1.260 A – h / día**; **si el compresor requiere 630 A – h / día, quiere decir que hay un excedente de generación de electricidad en 12 V DC de 630 A – h / día, que pueden ser utilizadas para cubrir otras cargas de la vivienda tales como: iluminación, radio, TV, entre otras.**

Para las pruebas realizadas en el Laboratorio de Energías No Convencionales, se utilizó un refrigerador que opera con un compresor

alternativo o reciprocante modelo LT22 de 1 / 4 de hp; del tipo abierto, accionado por un motor de 12 V DC, consume unos 16 A, por lo que no se requirió el inversor DC / AC.

El refrigerador anteriormente mencionado utiliza un evaporador de expansión directa con escarcha y forma parte del conjunto del compresor. El condensador es enfriado por aire, conformado por un serpentín con aletas sobre el cual se impulsa aire forzado con una turbina accionada con el motor del compresor. Como dispositivo de expansión se utiliza un tubo capilar de aproximadamente 2,5 m de longitud y un diámetro interno de 0,6 mm. Utiliza como refrigerante Freón 12, debido a que es conveniente para las presiones de funcionamiento del compresor (por la pequeña potencia que necesita, la carga de Freón requerida para que el sistema funcione oscila entre 50 y 70 psi), no es tóxico ni corrosivo.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y REGISTRO AUTOMATIZADO DE VARIABLES METEREOLÓGICAS, CONTROL-ARMONIZACIÓN DE LOS SISTEMAS INSTALADOS

Para el desarrollo de proyectos de investigación relacionados con el aprovechamiento de fuentes renovables de energía, la información meteorológica es de vital importancia, puesto que variables tales como velocidad y dirección del viento (medición de rachas, ciclos diarios o variaciones estacionales); radiación e insolación; temperatura ambiental; humedad relativa; precipitación, etc. constituyen la base para el diseño de los captadores eólicos y solares para diversos usos a los cuales se destinen de manera tal de garantizar el suministro de energía eléctrica, agua potable o cualquier otro servicio requerido por las comunidades.

Una vez instalados los prototipos deben ser caracterizados para calcular su eficiencia, y otros parámetros de interés, por lo cual se deben tomar

mediciones de las diversas variables que participan en los procesos de transformación de energía, para luego relacionarlas con las variables meteorológicas que determinan las condiciones climáticas del lugar donde están emplazados estos sistemas; para de esta manera sacar conclusiones en la fase de prueba de los prototipos tecnológicos desarrollados.

La medición de las variables meteorológicas y de funcionamiento de los sistemas instalados se logró con la instalación de una estación portátil y un sistema automatizado de adquisición de data, que mediante la utilización de un computador personal (PC), suministre la información de manera ordenada en forma oportuna y presentada de acuerdo a los requerimientos del usuario.

SISTEMA AUTOMATIZADO DE ADQUISICIÓN DE DATA AMBIENTAL

Un sistema de adquisición remota de data, es capaz de medir variables, transmitir y registrarlas en forma remota o local; está conformado por sensores, un transmisor, y una interfaz de interconexión al computador personal. En este proyecto se instalaron como sensores: un termómetro (para registrar cambios de la temperatura ambiental), un pluviómetro (para medir la cantidad, duración, ritmo e intensidad de lluvia precipitada sobre el Laboratorio de Energías No Convencionales), un anemómetro y una veleta para medir la velocidad y dirección del viento.

Se instaló una tarjeta electrónica para el transmisor que recibe la señal del sensor, la cual la estandariza (de acuerdo a normas internacionales), para luego enviarla al centro de procesamiento de la data recolectada. Como los sensores están instalados alejados del sistema de registro y proceso de la data, se utilizaron filtros de “paso bajo“, en el transmisor para evitar que penetre ruido a la señal provocando distorsión.

Se adquirió una tarjeta de interfaz (modelo PCL711) del tipo de “aproximación sucesiva“, que incluye además la tarjeta de canales de entrada (PCLD 7115); dispositivo que recibe la señal analógica enviada por el transmisor y la convierte en digital; a la interfaz se conecta “el contador“, instrumento que realiza la codificación de la señal digital convertida en la interfaz y la codifica a slots de micro computadora (bytes).

Una vez que la señal emitida por el sensor es convertida a bytes, se utiliza la capacidad de memoria de un sistema de computación (u otros dispositivos), para registrar y almacenar la información, mediante la unidad central de procesamiento de datos (CPU), memorias y las unidades periféricas de entrada y salida. El sistema de adquisición de data consta de cuatro canales pre-configurados, los cuales se utilizan para la captura y registro de las siguientes variables:

- Velocidad del viento
- Temperatura ambiental
- Pluviosidad
- Radiación solar

El sistema utilizado es multifuncional para ser usado en conjunto con un microcomputador e interfaces de entrada y salida con ancho rango de medición y control. Está equipado con convertidores analógicos/digitales de 12 bits que soportan ocho entradas y una salida análoga; así como 16 entradas y salidas digitales para el monitoreo y control del proceso.

La información colectada, debidamente procesada permite establecer correlaciones aproximadas con los datos suministrados por una estación meteorológica cercana, corroborar resultados y hacer predicciones.

El software suministrado por el fabricante de la interfaz es de fácil manejo, puede ser usado en lenguaje Basic, QuickBasic, Lenguaje C o Pascal. Los programas se cargaron en lenguaje Basic. Además se cuenta con una serie de programas que pueden ejecutarse desde el sistema tales como:

- Para la calibración de la tarjeta interfaz.
- Cargar en memoria el manejador de la tarjeta e iniciador de la tarjeta convertidora.
- Programa que desactiva de la memoria del computador el manejador de la tarjeta.
- Análisis de la data.

También se utilizaron programas de librería ejecutables en GWBASIC:

- Para la conversión A/D usando el software (lectura de voltaje).
- Para la toma y registro de temperatura usando software de conversión A/D.

En el montaje y puesta en marcha del sistema se siguió la secuencia de actividades que se describe a continuación:

1. Se instaló en la memoria interna de computador el manejador de la tarjeta y los programas.
2. Calibración del sistema.
3. Conexión de los sensores a los canales de entrada (PCLD - 7115) y la tarjeta interfaz (PCL - 7111).
4. Ejecutar el programa de manejo LABTECH ACQUIERE.

5. Realizar pruebas utilizando termocuplas para medición de temperatura que luego se compararon con mediciones obtenidas con termómetros digitales (ECG – DT – 205) y de bulbo.

Las pruebas reportaron variaciones por el orden $\pm 0,001$ grados centígrados, por lo que se consideró que el funcionamiento del sistema está dentro de lo pautado, se realizaron los ajustes finales y se procedió a probar los demás sensores de medición instalados.

SISTEMA DE REGULACIÓN DE VELOCIDAD PARA TURBINAS EÓLICAS

Existen diversos tipos de mecanismos de control que limitan la velocidad rotacional de los rotores eólicos cuando están en presencia de velocidades excesivas del viento. En algunos diseños se incorpora un mecanismo de freno, el cual funciona automáticamente si la velocidad del rotor excede un máximo preestablecido, o si ocurren desbalances en los álabes.

También es posible utilizar “un mecanismo de salida“, mediante el cual el rotor es sacado automáticamente del viento por una veleta cuando la velocidad del viento aumenta más del máximo permisible. Bajo condiciones normales de operación, la veleta está en posición perpendicular a la dirección del viento, pero en vientos altos la fuerza de empuje sobre ella hace que el rotor salga de la dirección del viento ejerciendo control sobre su velocidad rotacional, y así evitando desperfectos.

Otros mecanismos de control comprenden el uso de elementos que modifican el flujo del aire sobre el rotor cuando la velocidad del viento aumenta más allá del nivel máximo permitido. La presión aerodinámica ejercida por el flujo de aire perturbado es mucho menor que la del viento sin perturbación, de esta forma la velocidad del rotor será

reducida para permanecer dentro de límites seguros. Se diseñó y construyó un sistema de control de velocidad para aplicarlo a un aerogenerador que suministra corriente eléctrica entre 0 y 14 V DC, en una relación proporcional a la velocidad del viento.

El prototipo es capaz de regular la velocidad de la turbina eólica a diferentes niveles de voltaje, debido a que ésta es la variable de control utilizada en el diseño. El circuito de control está constituido por cuatro subsistemas:

- De alimentación: es el circuito electrónico capaz de mantener el voltaje variable producido por el aerogenerador en un valor fijo, para alimentar los circuitos integrados que conforman el sistema de comparación.
- De comparación de voltajes: circuito electrónico que se activa cada vez que el voltaje de entrada (generado), exceda el voltaje de referencia (voltaje de control).
- De regulación: encargado de regular la velocidad de la turbina cuando el circuito de comparación de voltajes esté activo.
- De enfriamiento: es el circuito encargado de activarse cada cierto tiempo para refrescar el sistema en general.

El primer subsistema se encarga de regular el voltaje variable de la turbina a un valor fijo para alimentar los circuitos integrados que forman el subsistema de comparación de voltajes. Este último tiene por objeto monitorear el voltaje generado por la turbina, para compararlo con un voltaje de referencia establecido de acuerdo a los parámetros de funcionamiento del aerogenerador, y así poder saber cuándo la turbina está excediendo el nivel de voltaje controlado. Una vez que este subsistema se activa, coloca en funcionamiento el subsistema de regulación que utiliza el voltaje generado por la turbina para excitar los elementos que lo conforman y de esta forma regular su velocidad; este

subsistema deja de funcionar cuando el comparador de voltajes detecta que la turbina está girando a una velocidad inferior a la de referencia.

La velocidad del viento se calculó experimentalmente utilizando la siguiente expresión:

$$VVCAL = (V MED \times VVMAX) / VMAX$$

Donde:

VVCAL: Velocidad del viento calculada.

VMED: Voltaje medido en el aerogenerador.

VVMAX: Velocidad del viento máxima permitida.

VMAX: Voltaje máximo emitido por la turbina.

Se realizaron una serie de pruebas al sistema desarrollado observando que actúa rápidamente ante los cambios de velocidad del viento, implementando el control al sistema de generación de la turbina agregando o quitando las cargas resistivas conectadas, que son las que finalmente ejercen la acción de control sobre el aerogenerador.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS SECCIÓN I

Los sistemas energéticos diseñados, construidos, instalados y probados en el Laboratorio de Energías Renovables del Centro de Investigación en Tecnología Industrial y Pesquera (CITEC/UNEFM) funcionaron con un alto nivel de eficiencia, suministraron los niveles de potencia y energía requeridos en las diferentes aplicaciones establecidas: abastecimiento de agua potable; saneamiento ambiental, suministro de energía eléctrica, desalinización de agua del mar o agua salobre de pozos ubicados en zonas cercanas al mar, refrigeración con energía solar, calentamiento de fluidos, producción de gas metano en

biodigestores, captación y procesamiento de data meteorológica, medición, seguimiento y control de los parámetros y variables de operación; lo que permite concluir que pueden ser transferidos para su utilización en pequeños conglomerados de familias del sector rural, comunidades indígenas, y de sectores urbanos desasistidos como se describe el sección II (que se presenta a continuación).

Su operación resulta económica, por el hecho que se utilizan fuentes renovables de energía que no reviste costo alguno, sin embargo requiere de una inversión inicial de cierta consideración por los costos asociados a la adquisición de materiales, maquinarias y equipos, mano de obra involucrada y otros servicios asociados; sin embargo la inversión se amortiza en el corto plazo por lo anteriormente indicado de que la energía utilizada no reviste costo alguno y son de mínimo mantenimiento, además que no contaminan y en la mayoría de los casos se pueden utilizar tecnologías apropiadas que incluso reaprovechen materiales y accesorios reciclados.

A tall, slender metal structure with a large, multi-bladed fan at the top, situated in a rural, hilly landscape. The structure is the aerobomba, used for water extraction. The background shows a valley with trees and a clear sky.

II

**PROYECTOS FORMULADOS Y DESARROLLADOS
RELATIVOS, ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA Y ASESORÍA TÉCNICA**

Vista Panorámica de la Aerobomba en pleno Funcionamiento extrayendo agua del pozo recuperado.

Con el objeto de transferir las tecnologías desarrolladas, asimiladas o innovadas en el Laboratorio de Energías No Convencionales del CITIP – UNEFM, se formularon proyectos que se presentaron a los entes gubernamentales responsables de suministrar los servicios públicos a poblaciones del sector rural, en comunidades indígenas o en actividades productivas que tengan relación con el desarrollo económico y social de estas comunidades, para la consecución de los recursos financieros necesarios que permitieran la ejecución de los proyectos presentados a consideración.

Los programas y proyectos formulados se ejecutaron parcialmente con aportes de la Gobernación del Estado Falcón, la Alcaldía del Municipio Los Taques, la Universidad Francisco de Miranda y recursos provenientes de las filiales de PDVSA MARAVEN (a través de la Fundación Zumaque) y PALMAVEN.

A petición de algunas comunidades o dentro de las actividades programadas con organizaciones que promueven el desarrollo social, se realizaron diversas actividades de asesoría técnica y transferencia tecnológica en los Estados Falcón, Zulia, Sucre, Amazonas, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro; dentro del marco de ejecución del Programa de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Alternas – PROALTERNA.

PROGRAMAS Y PROYECTOS FORMULADOS PRESENTADOS A ENTES GUBERNAMENTALES Y FINANCIEROS

En Octubre de 1994, se presenta a la consideración de la Gobernación del Estado Falcón “**El Programa de Abastecimiento de Agua y Saneamiento Ambiental de las Comunidades Rurales del Estado Falcón (PRAASAF)**” desarrollado por un grupo de especialistas del

Laboratorio de Energías No Convencionales de la UNEFM, Y de la Secretaría de Desarrollo Agrícola de la referida Gobernación.

La propuesta una vez estudiada por las autoridades regionales competentes, fue enviada al Fondo de Inversión Social de Venezuela (FONVIS), para su financiamiento. El programa planteaba como objetivo fundamental, la construcción y/o recuperación de pequeños acueductos rurales mediante la utilización de Tecnologías Apropriadas basadas en el aprovechamiento fuentes renovables de energía.

En Agosto de 1997, FUNDACITE FALCON presentó a la consideración de la Gobernación del Estado un **Estudio Técnico Económico para “la Masificación“, mediante programas de autogestión (con la debida transferencia tecnológica), de los Generadores Híbridos Solar – Eólicos de Baja Potencia”**, desarrollados en el Convenio de Cooperación Institucional suscrito entre la Universidad Francisco de Miranda y la Fundación Zumaque.

En Mayo de 1998, se formula a petición de la Gobernación del Estado Falcón, con la participación de especialistas del Laboratorio de Energías No Convencionales y la Unidad Coordinadora de Proyectos, adscrita a la Coordinación del área de Gestión, Planificación, Presupuesto y Hacienda de la referida Gobernación, el **“Proyecto de Electrificación con Fuentes Renovables de Energía el Caserío Cuajaracume – Municipio Urumaco“**, que fue remitido a la consideración del FIDES para su financiamiento.

ACTIVIDADES DE ASESORÍA TÉCNICA Y DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DESARROLLADAS

En la Pitahaya, Municipio Falcón, se instaló un molino de viento del Tipo Multipala Tradicional, el cual fue modificado para mejorar su

eficiencia, facilitando el proceso de extracción de agua de un pozo de 56 m de profundidad.

El pozo construido con tubo galvanizado ranurado de ocho pulgadas de diámetro, permaneció infuncional por un largo periodo de tiempo lo que produjo la obstrucción de las ranuras de percolación del agua de las corrientes subterráneas al interior del pozo. Para su recuperación se utilizó la técnica de rebombeo, aplicando aire comprimido por el interior del tubo por donde asciende al agua a la superficie y agua a presión por el filtro ubicado en el exterior del tubo de 8 pulgadas que conforma el pozo.

Al no obtener resultado satisfactorio se recurrió al empleo de dióxido de carbono en estado sólido (hielo seco), que al introducirlo en el interior del tubo y hacer contacto con el agua, se produjo un proceso de sublimación, generando presiones superiores a los 500 libras/pulgada² (medidas con un manómetro instalado en un tapón atornillado en la boca del pozo), las altas presiones generadas permitieron la eliminación de óxidos y residuos finos incrustados en la sección ranurada del tubo galvanizado.

Para evitar deterioro en el tubo y el desprendimiento de la “punta de lápiz”, ubicada en su extremo inferior, se colocó una válvula de alivio en la tapa, adyacente al manómetro lo cual permitió el control del proceso. No se cuenta con evidencias sobre el empleo de este método en Venezuela. En la figura 27 se puede observar el pozo intervenido con el rebombeo y en la figuras 28 y 29 se muestran las labores de instalación de la aerobomba multipala.



FIGURA 27. Pozo de Agua de 8 pulgadas de diámetro, ubicado en la Pitahaya, Península de Paraguaná, Estado Falcón.



FIGURA 28. Labores de instalación de Aerobomba Multipala en la Pitahaya



FIGURA 29. Vista Panorámica de la Aerobomba en pleno Funcionamiento extrayendo agua del pozo recuperado.

En la Comunidad del Mamonal ubicada en el mismo Municipio Falcón, se instaló conjuntamente con la Secretaría de Desarrollo Agrícola, una aerobomba accionada con una turbina eólica SAVONIUS, con triple perfil aerodinámico, álabes desplazados cada 60°. Para su construcción se utilizaron recipientes cilíndricos contenedores de lubricantes. La turbina SAVONIUS conectada a un sistema de transmisión biela – manivela, convierte el movimiento circular en alternativo, para accionar una bomba reciprocante simplex que extraía agua de un pozo de construcción artesanal de 25 m de profundidad.

Se recuperó el acueducto por galería de Tomodare, ubicado en la Población de las Ventosas (Municipio Colina, Falcón), este acueducto surtía antiguamente de agua a la Vela de Coro y a la misma Población de las Ventosas. Con la utilización de paneles fotovoltaicos se accionaron bombas eléctricas de achique para poder trabajar en el área de percolación del agua en seco y utilizar equipos de percusión eléctricos utilizados para retirar la formación calcárea que impedía el paso del agua al reducir considerablemente el estanque de recolección del fluido y el diámetro interno de la tubería.

La conducción del agua a través de un flujo laminar durante muchos años por la tubería determinó que se crearan capas de material calcáreo que con el tiempo formaron una pared gruesa dentro del tubo disminuyendo considerablemente el diámetro útil de conducción, proporcionando menor caudal de entrega del fluido al tanque de almacenamiento.

La fuente de suministro es un manantial subterráneo ubicado en una galería a la cual se accede a través de un túnel conformado por una sección vertical de 7 m de profundidad y 1,5 m de diámetro, y una sección horizontal de 150 m de longitud y 1,60 m de diámetro.

Se realizaron obras de recuperación del manantial, reposición de los tramos de tubería de 6 pulgadas de diámetro que transporta el agua a través del túnel y de éste al tanque de almacenamiento que surte a la población; aproximadamente 300 m de tubería enterrada y 500 m colocada en la superficie sobre soportes metálicos; esta sección de tubería presentaba ondulaciones en algunos tramos ocasionando que el agua no pudiera circular porque se presentaban contrapresiones que impedían el flujo por gravedad. En la figura 30 se puede observar la obra de captación del agua y el túnel vertical que da acceso al túnel horizontal que va al manantial.

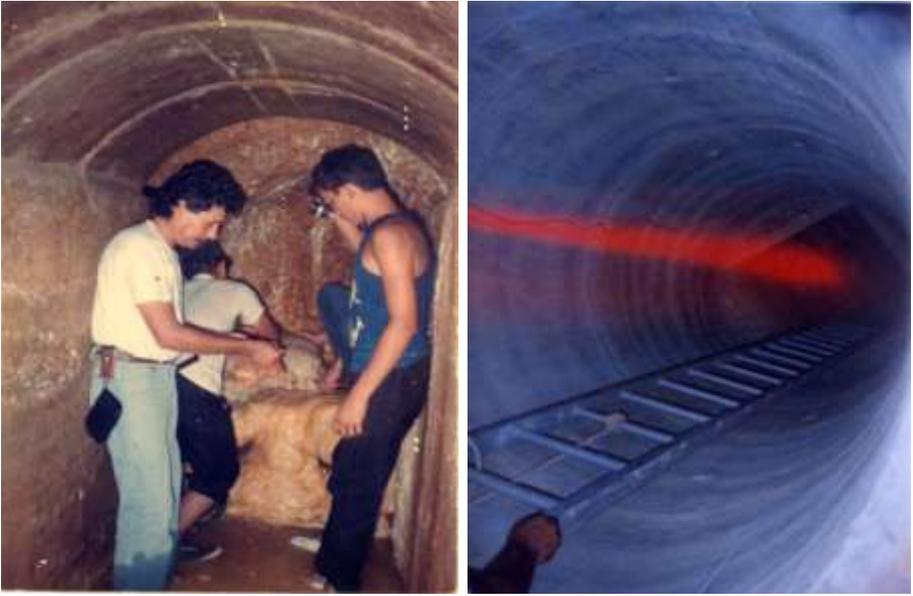


FIGURA 30. Obra de Toma y Túnel de Acceso, Manantial del Acueducto por Galería de Tomodare

Con la participación de la Universidad Francisco de Miranda, la Fundación Zumaque – Gerencia Regional Falcón y con el auspicio de la Alcaldía del Municipio los Taques, **se transfirió el generador eólico-solar de 1,5 kW de potencia a la Comunidad de Hato Jacuque** para abastecer de energía eléctrica a tres viviendas de productores rurales de ganado caprino.

El generador carga un banco de baterías que suministra energía eléctrica en DC, y que posteriormente se transforma en corriente alterna (AC) en 110 V y 60 Hz a través de un inversor DC/AC para iluminación, radio, televisión y electrodomésticos o neveras de bajo consumo. En las figuras 31 y 32 se puede observar el aerogenerador instalado y una

vivienda abastecida con energía eléctrica generada por el conjunto turbina-generador-regulador.



FIGURA 31. Viviendas Interconectadas al Servicio Eléctrico Planta de Generación Híbrida Eólico – Solar Fotovoltaica



FIGURA 32. Vivienda del Caserío Jacuque, Estado Falcón, abastecida de energía eléctrica

En la Comunidad Indígena de Bakugbari ubicada en la Sierra de Perijá, Estado Zulia, con el auspicio de la Embajada de Holanda y dentro del marco de la ejecución del Programa PROALTERNA, se instaló una bomba sumergible accionada con electricidad fotovoltaica generada por módulos solares, para extraer agua de un pozo de 28 m de profundidad.

La bomba además de extraer el agua del pozo, la conduce hasta un tanque ubicado en la parte más alta de la comunidad, para luego transportarla por gravedad a la escuela, el dispensario y las viviendas indígenas de los habitantes de Bakugbari. Este sistema de bombeo tiene la ventaja que requiere mínimo mantenimiento, opera con energía solar que no reviste costo alguno, además que la operación y el escaso mantenimiento preventivo que se debe realizar es sencillo y de bajo

costo. Su instalación beneficia a la comunidad puesto que asegura el suministro regular de este vital líquido, además que elimina la labor manual de extraer el agua de un pozo profundo y transportarla a través de largos trayectos.

Entre Abril y Junio de 1997, se realizó **“un estudio diagnóstico integral en las Comunidades Indígenas Warao del Delta del Orinoco”**, con el auspicio de la Corporación Venezolana del Petróleo (CVP). El diagnóstico integral se realizó con el objeto de estudiar el impacto de la exploración petrolera en las comunidades ubicadas en Delta Centro, Punta Pescador y Pedernales, además de conocer el estado de salud de la población y las necesidades de infraestructura de servicios para el saneamiento ambiental, el suministro de agua potable y energía eléctrica.

Particularmente el personal técnico de PROALTERNA participó en la elaboración del diagnóstico de la infraestructura y en el apoyo logístico a médicos, bioanalistas, nutricionistas, odontólogos y el resto del grupo técnico conformado por 24 profesionales. Se instalaron hospitales, clínicas odontológicas y laboratorios móviles operados con energía eléctrica suministrada por paneles fotovoltaicos; para lo cual los equipos de laboratorio y electromédicos se adaptaron para operar en 12 V DC.

También se prestó apoyo en el bombeo de agua, depuración de agua para el consumo humano y la instalación de iluminación con electricidad fotovoltaica en los campamentos base del equipo Técnico – Profesional que realizó el diagnóstico por un periodo de más de tres meses; incluso se instalaron pequeñas bombas de achique de barco de 12 VDC, accionadas con paneles solares fotovoltaicos para suministrar agua a los baños, a las duchas y al campamento en general (para las labores de cocción de alimentos, limpieza, lavado de vajillas) para evitar que miembros del equipo técnico o de apoyo se introdujeran en

los caños del río Orinoco con presencia de tembladores u otras especies peligrosas, principalmente en horas de la noche.

A continuación se presenta un montaje fotográfico, con el registro de algunas de las actividades realizadas en el Delta del Orinoco, dentro del contexto de la ejecución del Proyecto de abordaje socioeconómico, médico-odontológico y bioanálisis de las Comunidades Warao del Delta del Orinoco, con la participación del Instituto Nacional de Higiene, la Fundación Zumaque (MARAVEN/PDVSA), la Universidad Francisco de Miranda PROALTERNA (convenio UNEFM/Fundación Zumaque), bajo los auspicios de la Corporación Venezolana del Petróleo 1.997.

En las figuras 33a, 33b, 33c y 33d se pueden observar las labores de atención médica, odontológica, bioanálisis y prestación de los servicios de campamento (suministro de agua potable, energía eléctrica y saneamiento ambiental) con energía solar fotovoltaica.





FIGURAS 33 a, b, c y d. Atención Médico, odontológica y de bioanálisis operando con energía solar fotovoltaica en 12 VDC. Comunidades de la Etnia Warao, Delta del Orinoco, Estado Amazonas

Dentro del contexto de la ejecución de los proyectos de “Conservación de Cuencas de Sistemas de Captación Hídricos” desarrollado por PALMAVEN, personal técnico de PROALTERNA (Fundación Zumaque-UNEFM) realizó el diagnóstico integral referido al área social. Particularmente se desarrolló el “Diagnóstico de Saneamiento Ambiental e Infraestructura de Servicios” en Comunidades Rurales e Indígenas de los Estados Sucre, Monagas, Anzoátegui y Zulia. El diagnóstico sirvió de base para posteriormente hacer las propuestas de suministro de agua potable, saneamiento ambiental, atención médica, atención odontológica y servicios de

interconexión eléctrica mediante la utilización de sistemas tecnológicos que operaban con energía solar fotovoltaica y térmica, energía eólica o a través de la combinación de estas (sistemas híbridos).

En el año 2005 se Instaló la Planta de Generación de Electricidad Fotovoltaica, en el Wupulee de Kasusain, Península de la Guajira, Estado Zulia, con el auspicio de la Red de Mujeres Indígenas Wayuu, y con el financiamiento de la ONG Alemana KAREN, la participación de la Universidad Francisco de Miranda, la Fundación para el Desarrollo Eléctrico (FUNDELEC) y Personal Técnico de Ecosol Solar (COPEXTEL – Cuba); para suministrar energía eléctrica al Wupulee (sitio de encuentro en dialecto wayuu), donde se desarrollan actividades educativas, culturales, comunitarias y recreativas para los habitantes de la comunidad de Kasusain, ubicada cercana al Cabo de la Vela en la Península de la Guajira. Con este proyecto se beneficiaron más de 300 Personas.



Figura 34: proyecto “Wapulee de Kasusain”, Alta Guajira, Estado Zulia. Red de Mujeres Indígenas Wayuu.

En las figuras 35 que se presentan a continuación se muestran detalles de la instalación y puesta en servicio de la planta de generación fotovoltaica del Wapulee del Kasusain, Alta Guajira Estado Zulia, para el abastecimiento de energía eléctrica al preescolar, la escuela, el comedor y la sala de usos múltiples.



FIGURAS 35 a, b, c y d. Detalles de la instalación y puesta en servicio de la planta de generación de electricidad fotovoltaica Wapulee del Kasusain, Alta Guajira Estado Zulia



FIGURA 36 a y b. Instalaciones del Wapulee del Kasusain operando con energía eléctrica generada por la planta fotovoltaica.

Instalación de un Sistema de Generación Fotovoltaico y Construcción de Acueducto en la Comunidad de Culebra, Municipio Alto Orinoco del Estado Amazonas.

Para el suministro de energía eléctrica a la estación experimental que sirve de base para la ejecución del Proyecto de **“Demarcación de las Tierras Ancestrales de la Etnia Yekuana”**, con la Coordinación de la Fundación Otro Futuro y la participación del Departamento de Antropología del IVIC, una ONG de Indígenas del Yukon de Canadá, el Banco Mundial y Organizaciones Gubernamentales de la República Bolivariana de Venezuela, durante los años 2.000 al 2.002 se realizaron diversas visitas a la comunidad de Culebra, Municipio Alto Orinoco del Estado Amazonas para acometer acciones para la construcción y puesta en operación de un acueducto; al efecto se construyó una obra de toma en el río Kunucunuma (en la Selva Amazónica) y se hizo un tendido de manguera de 3 Km de longitud con manguera de polietileno de 2” de diámetro para transvasar agua a la comunidad de Culebra para el consumo humano, y para enfriar el salón donde se instalaron computadoras, GPS y otros equipos electrónicos operando con energía solar fotovoltaica, mediante la utilización de una especie de aire acondicionado construido con un radiador automotriz (para funcionar como intercambiador de calor) y un ventilador que esparcía el aire más frío por el salón, también alimentado por energía solar fotovoltaica.



FIGURA 37. Vista panorámica de la Comunidad de Culebra, Municipio Alto Orinoco del Estado Amazonas



FIGURAS 38 a y b. Construcción del acueducto



FIGURAS 39 a y b. Tendido de manguera de transporte del agua desde el punto de toma hasta la estación de operaciones del proyecto de demarcación de tierras ancestrales de la comunidad de Culebra- Alto Orinoco.



FIGURAS 40 a y b. Vista de detalle y de conjunto del sistema de climatización sala de computadoras, periféricos y GPS.

En la misma Comunidad de Culebra se recuperó la planta de generación mediante paneles fotovoltaicos, para suministrar energía eléctrica en 12 VDC y 120 VAC, a la Estación de IMPARQUES, que venía funcionando por más de 10 años. Se realizó mantenimiento general al banco de baterías (cambio de bornes y sustitución del electrolito), se sustituyó el cableado para la alimentación del inversor y de este a los circuitos de iluminación, radio de comunicaciones y otros equipos instalados en el lugar.



FIGURA 41. Planta de generación fotovoltaica de la estación de INPARQUES



FIGURA N° 42. Recuperación del banco de baterías, controlador e inversor planta fotovoltaica INPARQUES

Instalación de una Planta de Generación Fotovoltaica en la Escuela Básica de la Comunidad de Jacuque, Municipio Falcón del Estado Falcón. Proyecto desarrollado en el año 2.006 en el Marco de Ejecución de Programa Sembrando Luz, con el auspicio de FUNDELEC y la participación de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, para abastecer de energía eléctrica a la Escuela Básica de la Comunidad, la Cocina y el Comedor Estudiantil. En las figuras 43 a, b y c se pueden observar las diferentes etapas del proceso de instalación de la planta de generación fotovoltaica.



FIGURAS 43 a, b y c. Instalación de la planta de generación de electricidad fotovoltaica Escuela Básica Comunidad de Jacuque, Municipio Falcón, Estado Falcón.



FIGURA 44. Inspección del primer sistema de generación híbrido solar fotovoltaico eólico instalado por el programa PROALTERNA (convenio UNEFM-FundaciónZumaque/MARAVEN)



FIGURA 45 a y b. Entrega del sistema de generación fotovoltaico a la comunidad y la coordinación Educativa del Plantel

Abastecimiento de energía eléctrica con energía solar fotovoltaica a INFOCENTROS de comunidades del Estado Falcón.

Con el auspicio de la Fundación INFOCENTROS Ministerio del Poder Popular para la Ciencia y Tecnología y FUNDACITE Falcón, durante el año 2.007 en las Comunidades de Jacura y Tocópero del Estado Falcón se instalaron plantas de generación que operan con energía fotovoltaica y a su vez conectadas a la red eléctrica en el marco del Programa de instalación de generación eléctrica de respaldo en INFOCENTROS ubicados en comunidades donde se presentaban continuas interrupciones en el suministro eléctrico para garantizar la prestación del servicio continuo y seguro a los usuarios. Se planteó instalar los referidos sistemas de generación en estas dos comunidades como experiencia piloto para la posterior transferencia de la experiencia por todo el territorio nacional.

En la figuras número 46 y 47 a y b se puede observar la planta de respaldo fotovoltaica en la comunidad de Jacura.



FIGURA 46. Planta de generación fotovoltaica instalada en la Comunidad de Jacura. Programa Piloto de Electrificación de INFOCENTROS del Ministerio de Ciencia y Tecnología- Fundación INFOCENTROS – FUNDACITE Falcón.



FIGURA 47 a y b. INFOCENTRO de la población de Jacura funcionando con energía eléctrica fotovoltaica.

Planta de Abastecimiento de Energía Eléctrica de Respaldo (Solar Fotovoltaica), para la Academia de Software Libre y la iluminación exterior de la parte posterior del Centro de Documentación e Información de la Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero (UPTFAG).

Como actividad de campo de carácter experimental en el marco de la realización del curso sobre sistemas de generación de energía eléctrica fotovoltaicos dictado con el auspicio de la UPTFAG y de FUNDACITE Falcón, en la sede principal de la UPTFAG en la Ciudad de Coro en el 2.015 se instaló una planta de abastecimiento de energía eléctrica de respaldo fotovoltaica para garantizar a través de inversores cargadores conectados a red con transfer incorporado el suministro eléctrico de forma continua y segura durante periodos de tiempo donde no se cuente con suministro eléctrico de la red de CORPOELEC por interrupciones programadas o por fallas en el servicio a la Academia de Software libre (proyecto de cooperación interinstitucional entre la UPTFAG y FUNDACITE Falcón).

El objetivo planteado fue instalar la planta de respaldo solar fotovoltaica para garantizar el suministro continuo y seguro de energía eléctrica a la Academia de Software Libre extensión Centro de Documentación e Información de la UPTAG y la iluminación de las áreas externas de la parte posterior del edificio con fines de seguridad y confort, de tal manera que no se interrumpieran sus labores por efecto de fallas del servicio eléctrico o por interrupciones programadas por parte CORPOLEC. Con la alimentación de la planta se interconectaron servidores, computadores, periféricos y la iluminación interior y exterior, mediante dos circuitos independientes servidos con inversores-cargadores DC/AC con transfer para la interconexión inmediata al ocurrir la interrupción del suministro eléctrico de la red en las figuras 48 a y b se puede observar la planta fotovoltaica instalada y en la figuras 49 a y b el sistema de alumbrado de la parte exterior del Centro de Documentación e Información de la UPTAG.



FIGURAS 48 a y b. Planta solar instalada en la Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero (UPTFAG), en la ciudad de Coro, en el marco de la realización del curso de sistemas de generación fotovoltaicos.



FIGURAS 49 a y b. Iluminación exterior Centro de Información y Comunicación de la Universidad Politécnica Territorial Alonso Gamero con generación de energía eléctrica fotovoltaica

Instalación de un sistema de generación híbrido (solar fotovoltaico-eólico) autónomo en una unidad de producción sector rural de Yaracal Municipio Cacique Manaure.

En el año 2.011 para solventar las carencias en el suministro de energía eléctrica en una Unidad de producción agrícola ubicada aislada del tendido del Sistema Eléctrico Nacional en el Municipio Cacique Manaure, Estado Falcón, se instaló un sistema de generación híbrido solar Fotovoltaico-eólico, para abastecer de energía eléctrica a la vivienda y al ordeño mecánico, para facilitar las labores de producción agrícola y pecuaria que se desarrollan de forma continua en esta unidad de producción. En las figuras 50, 51 y 52 se puede observar el proceso de instalación del sistema de generación híbrido fotovoltaico-eólico y la vivienda abastecida de energía eléctrica fotovoltaica.



FIGURAS 50. Proceso de ensamblaje de la planta solar fotovoltaica-eólica instalada en una unidad de producción aledaña a la población de Yaracal, Municipio Caciue Manaure, Estado Falcón.



FIGURAS 51. Instalación del aerogenerador de la planta híbrida fotovoltaica-eólica.



FIGURA 52 a y b. Vivienda rural, embarcadero y corral de ordeño operando con energía eléctrica suministrada por planta solar fotovoltaica-eólica

Excavación y encamisamiento de pozo y construcción de bomba recíprocante manual en la comunidad del Supí, Municipio Falcón.

Buscando solución al grave problema de suministro de agua potable durante los periodos de sequía en las zonas costeras del Estado Falcón, en el año 2.016 en la comunidad del Supí, Municipio Falcón, en las inmediaciones de la playa (a unos 200 m de distancia para que la arena del subsuelo sirviera como filtro natural para la retención de la sal), se excavó un pozo de extracción de agua de 3 metros de profundidad (a 70 cm se localiza el manto freático del agua filtrada proveniente del mar).

Para evitar que las paredes del pozo se desbarranquen por la acción del agua se colocó bloque de cemento de 20 cm desde el fondo hasta la superficie, donde además se almacena el agua que va entrar a la camisa de filtración. La camisa de filtración elaborada con un tubo PVC de 6 pulgadas de diámetro a la cual se le hizo la punta de cierre en el extremo que está enterrado en el pozo (punta de lápiz) que impide la entrada de arena al interior de la camisa donde se ubica la bomba, solo entra agua por las ranuras ubicadas en la parte inferior del tubo de

percolación sin sólidos que puedan tapparlas o averiar el pistón de cuero de la bomba.

El ranurado que permite la percolación del fluido al interior del tubo de PVC va desde la punta de lápiz hasta donde se encuentra el manto freático (aproximadamente 70 cm por debajo de la superficie).

La camisa de filtración, que además sirve para almacenar el agua que va a ser elevada a la superficie, se coloca centrada en el pozo para que pueda entrar el agua a través de todas las ranuras ubicadas en su diámetro exterior.

En las figuras 53 a, b y c, se puede observar el proceso de excavación del pozo, la colocación de bloque de estabilización para evitar el desmoronamiento de las paredes del pozo.



FIGURAS 53 a, b y c. Excavación del pozo, colocación de bloque de estabilización.

En las figuras 54 a y b se puede observar la elaboración de camisa de filtración con punta de lápiz y ranurado de percolación, la colocación de malla a la camisa filtrante para evitar la entrada de arena fina y otros elementos sólidos al interior del tubo que puedan afectar el pistón de bombeo.



FIGURAS 54 a, b. Elaboración de camisa de filtración con punta de lápiz y ranurado de percolación, colocación de malla a la camisa filtrante para evitar la entrada de arena fina y otros elementos sólidos al interior del tubo.

Para la elevación del agua contenida en el interior del tubo a la superficie se construyó una bomba recíproca de efecto simple con tubería PAVCO de 1½ pulgada de diámetro. La bomba es accionada por una palanca manual (puede adaptarse posteriormente y a los fines experimentales de accionarla mediante una turbina eólica).

Como se indicó la camisa de la bomba reciprocante de efecto simple se construyó con tubo PVC de alta densidad de 1½ pulgada de diámetro y de 1,50 m de longitud (se ubica a 50 cm por arriba de la punta de lápiz y un metro por debajo de la superficie), en la parte inferior lleva una válvula check de compuerta de 1½'' de diámetro y dentro de ésta un pistón elaborado con un cilindro de bronce cuyo diámetro es de 3 mm menor al diámetro interior de la camisa de PVC de alta densidad (1½'') y está dividido en dos partes (dos cilindros) de 2½'' pulgada longitud cada uno, con una perforación en el medio para introducir una barra roscada de 7 ½ pulgada que los une. Entre uno y otro cilindro de bronce se coloca una doble arandela de cuero del mismo diámetro interior de la camisa de bombeo (1½'') que cumple la función de sello hermético.

En la parte superior de la camisa de la bomba se coloca una tee de PVC de alta densidad, en el extremo de la tee (en sentido vertical) se coloca un niple de PVC de alta densidad de 1½'' de diámetro que se eleva hasta un metro por arriba de la superficie. En la parte horizontal de la tee se coloca un niple de 5 cm de longitud y 1½'' de diámetro, posteriormente una reducción de 1½'' a ¾'' y luego se coloca una válvula check, un codo y un niple (hasta 70 cm por arriba de la superficie) todos los anteriores accesorios de ¾''. Ya en la superficie en el extremo del niple de ¾'' se coloca un codo y otro niple (en sentido horizontal) por donde se entrega el agua elevada por la bomba.

El proceso de extraer el agua de la camisa de percolación y posteriormente conducir el fluido a la superficie se hace a través de las operaciones de apertura y cierre de las dos válvulas check conectadas de forma inversa (al abrir una válvula se cierra la otra y viceversa). El émbolo con sellamiento hermético (mediante las arandelas de piel gruesa y tratada de ganado vacuno) es el elemento determinante en las operaciones de bombeo, puesto que al ascender por efecto del movimiento de la palanca (unida al émbolo mediante la barra roscada) produce la apertura de la válvula check ubicada en el fondo (de 1½'')

permitiendo la succión del fluido y su entrada al interior de la bomba. El movimiento inverso de la palanca que hace que el émbolo baje produce la compresión del fluido cerrando la válvula check del fondo y por la acción de la presión ejercida al fluido ocasiona la apertura de la válvula check ubicada horizontalmente (de $\frac{3}{4}$ '), esta acción de subir y bajar el émbolo y de abrir y cerrar las válvulas permite el ascenso del agua a la superficie de manera alternativa (flujo semicontinuo).

El sistema de captación de agua del subsuelo y de bombeo aun cuando reviste simplicidad en su construcción y operación resultó que presenta un rendimiento con alto nivel de eficiencia y por tanto representa una solución tecnológica apropiada, útil y económica para las comunidades carentes del suministro continuo y seguro de agua para el consumo familiar. El agua obtenida por efecto de la percolación a la camisa y posterior elevación por la bomba puede ser utilizada para el regadío de plantas ornamentales o de producción agrícola, para el consumo de ganado vacuno, ovino o caprino, para la limpieza del hogar, lavado de ropa y para la higiene personal de los habitantes de la vivienda o también para ser usada en procesos artesanales que no impliquen el consumo humano. En las figuras 55 (de la a hasta la f) se pueden ver los detalles construcción de la bomba (varilla que acciona el pistón de la bomba, tubo de entrega del fluido y la palanca de accionamiento del émbolo).





FIGURAS 55 a, b, c y d. Sistema de bombeo para la obtención de agua del subsuelo en la comunidad costera del Supí, municipio Falcón del Estado Falcón/Venezuela.



FIGURAS 55 e y f. Válvulas check y pistón de cuero

Instalación de una planta de generación fotovoltaica experimental-didáctica en el laboratorio de fuentes de energía renovables, centro de investigación industrial y pesquera (CITIP), Complejo Académico el Sabino de la Universidad Francisco de Miranda en la Ciudad de Punto Fijo, estado Falcón.

Con fines didácticos y Experimentales se instaló una planta de generación fotovoltaica en el laboratorio de Energías Renovables del Centro de Investigación Industrial y Pesquera (CITIP) de la UNEFM en su sede de la ciudad de Punto Fijo, bajo la coordinación de las Profesoras de unidades curriculares electivas de energías renovables en los Programas de Ingeniería del Decanato de Tecnología UNEFM y los alumnos cursantes de estas electivas, con los correspondientes equipos para el control de carga del banco de baterías, la inversión DC/AC, de protección y medición que permitan su caracterización durante su operación y así poder establecer la relación entre las variables meteorológicas, las variables inherentes a la capacidad de generación y el suministro de energía a la carga instalada, como se puede observar en las figuras 56 (de la a, a la c).



FIGURA 56 a, b y c. Proceso de instalación de la planta de generación fotovoltaica experimental en el Laboratorio de Fuentes Renovables de Energía CITIP/UNEFM Complejo Académico el Sabino, Punto Fijo, Estado Falcón

DISCUSIÓN DE RESULTADOS SECCIÓN II

La transferencia de los prototipos desarrollados, innovados en el Laboratorio de Fuentes Renovables de Energía-CITIP de la Universidad Francisco de Miranda, pudo ser posible en diversas comunidades rurales, indígenas y urbanas desasistidas del país, en centros de investigación e instituciones de educación universitaria por la adopción de una adecuada estrategia de transferencia tecnológica fundamentada en el establecimiento de convenios de cooperación entre instituciones públicas y no gubernamentales, la colaboración de empresas privadas.

Un aspecto que se debe evidenciar por la importancia que reviste es la incorporación de las propias comunidades beneficiarias, donde se planteó como principio fundamental auspiciar mecanismos de autogestión, donde los entes promotores o financiadores de los proyectos realizaron actividades de acompañamiento social para coadyuvar en las actividades de organización y formación de los habitantes de las comunidades para garantizar la sustentabilidad de los proyectos en el tiempo, de tal manera que las comunidades den mantenimiento y operen los sistemas de abastecimiento de agua potable, saneamiento ambiental y suministro de energía eléctrica, y además puedan reproducirlos y masificarlos mediante el establecimiento de la infraestructura necesaria y una organización social adecuada para tal fin, aún después que dejen de participar las instituciones u organizaciones acompañantes o financistas.

Al efecto se involucraron las comunidades en las diferentes fases de los proyectos: desde la procura de los materiales y equipos, en la instalación y puesta en marcha, en la operación de los sistemas y en las labores de mantenimiento preventivo.



III
**FORMACIÓN DE TALENTO HUMANO EN FUENTES
RENOVABLES DE ENERGÍA**

Grupo de egresados de la Maestría en Ingeniería Mecánica mención Fuentes Renovables Energía UNRFM-CUJAE

Con el auspicio del Ministerio de Educación Superior de la República Bolivariana de Venezuela, entre Octubre de 2.004 y Junio de 2.005, se dictó en la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda el **Diplomado en Fuentes Renovables de Energía**, con la participación de la Universidad de la Habana y el Instituto Politécnico Superior José Antonio Echeverría (CUJAE), Instituciones de Educación Superior Cubanas, la Universidad Central de Venezuela (UCV) y la Universidad Francisco de Miranda (UNEFM). Profesores de estas cuatro Instituciones Universitarias, dictaron el contenido programático que se especifica a continuación:

- Módulo I: Materiales Semiconductores.
- Módulo II: Sistemas Fotovoltaicos.
- Módulo III: Sistemas Híbridos.
- Módulo IV: Energía de la Biomasa.
- Módulo V: Energía Solar Térmica.

Del diplomado egresaron 53 especialistas de diferentes regiones de la República Bolivariana de Venezuela, por lo general profesionales de la ingeniería, técnicos superiores universitarios, técnicos medios, instaladores y de otras profesiones afines.

En la figura 57 se puede evidenciar participantes del diplomado realizando una actividad práctica de campo, desarrollada conjuntamente con personal técnico de FUNDELEC/Ministerio de Energía Eléctrica, en la Instalación de la planta fotovoltaica en la Escuela Básica Rosa Mística de la comunidad de Jacuque, Municipio Falcón, Estado Falcón.



FIGURA 57. Participantes del Diplomado en Fuentes Renovables realizando la actividad practica de campo.

Entre Febrero de 2.006 y Diciembre de 2.009 mediante Convenio de Cooperación Interinstitucional, entre la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM) y el Instituto Politécnico Superior José Antonio Echeverría (CUJAE), se dicta en la UNEFM la **Maestría en Ingeniería Mecánica en la mención Fuentes Renovables de Energía**, donde participaron 25 profesionales de diversas especialidades de la ingeniería y profesiones afines. En el Centro de Investigación Industrial y Pesquera (CITIP) se estableció la infraestructura de apoyo necesaria para el desarrollo de los proyectos de investigación que constituyeron los trabajos de grado. Al efecto se abrieron líneas de investigación en:

- Energía Solar (Térmica y Fotovoltaica).
- Energía Eólica.
- Energía de la Biomasa.
- Eficiencia Energética, Ahorro y Uso Racional de la Energía.
- Arquitectura Bioclimática.

En el año 2.010 en acto académico realizado en la Universidad Francisco de Miranda se graduaron 21 participantes de la maestría en su mayoría profesores de instituciones de educación superior Venezolanas: Universidad Bolivariana de Venezuela, Universidad Politécnica Territorial Alonso Gamero, Universidad Rafael María Baralt, Universidad Francisco de Miranda y profesionales de libre ejercicio de la profesión.



FIGURA 58. Grupo de egresados de la Maestría en Ingeniería Mecánica mención Fuentes Renovables Energía UNRFM-CUJAE

DISCUSIÓN DE RESULTADOS SECCIÓN III

En el año 2.002 el Consejo Universitario de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda aprueba la incorporación de unidades curriculares electivas en los pensa de estudio de los Programas de Ingeniería Civil del Área de Tecnología y en la Maestría de Sistemas de Producción Agrícola en el Trópico Seco del Área de Postgrado referentes a las fuentes renovables de energía.

En el 2.011 egresados de la Maestría en Ingeniería Mecánica en la mención de Fuentes Renovables de Energía, profesores de los programas de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Química, Ingeniería Industrial e Ingeniería Pesquera presentaron al Consejo del Área de Tecnología y posteriormente al Consejo Universitario de la UNEFM el proyecto de incluir en los pensa de estudios de los referidos programas unidades curriculares referentes a las fuentes renovables de energía: solar, eólica, biomasa y eficiencia energética, lo cual fue aprobado por estos órganos colegiados y desde entonces se han venido dictando componentes curriculares referidos al aprovechamiento de la energía solar (térmica y fotovoltaica), la energía eólica, energía proveniente de la biomasa y la eficiencia energética.

Por otra parte, se realizaron actividades académicas no conducentes a grado como es el caso del Diplomado de Energías Renovables entre 2004-2005 y estudios de cuarto nivel con la Maestría en Ingeniería Mecánica Mención Fuentes Renovables de Energía del 2006 al 2009, por constituirse en los primeros estudios formales en el campo del aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en Venezuela, por lo cual se considera a la UNEFM como la institución pionera en el país en la incorporación de estudios a nivel de pregrado, postgrado y formación continua en fuentes renovables de energía.

Impulsar los estudios de maestría tuvo como objetivo fundamental formar personal profesional calificado en labores de formulación, evaluación y desarrollo de proyectos y en labores de investigación en el ámbito del aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. Por otra parte la formación continua ha estado dirigida principalmente a la preparación del personal técnico, de ingeniería y profesiones afines y público en general interesado por el tema de las energías renovables, el ambiente y el desarrollo sostenible, mediante el dictado de cursos de sistemas de generación solares fotovoltaicos, eólicos o la combinación de ambas fuentes de energía (sistemas híbridos), con la idea de contar con personal técnico calificado en labores de construcción, instalación, mantenimiento y operación de sistemas que operen con la energía solar (térmica y fotovoltaica), la energía eólica, energía de la biomasa o en sistemas que utilicen estas u otras fuentes de energía simultáneamente (híbridos), labor de formación que se ha mantenido ininterrumpidamente hasta los actuales momentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chitty, A., Harris, H., 1984: Proyecto de Desarrollo de un Sistema de Abastecimiento Energético para una Vivienda Mediante Fuentes Alternas de Energía. Mimeografiado. Fundación Instituto de Ingeniería. Asociación Civil Orinoquia, Caracas, Venezuela.

Centro Inter – Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua (CINARA). 1990 con la Cooperación del International Water and Sanitation Centre la Haya, Países Bajos: Fuentes Renovables de Energía para Sistemas de Abastecimiento de Agua. Cali, Colombia.

FONDONORMA. 2003: Normas venezolanas referidas a la acción del viento sobre construcciones de vidrio, Norma 2003 – 86 (COVENIN - MINDUR).

Instituto de Cooperación Iberoamericana y la Empresa Hondureña de Telecomunicaciones (HONDUTEL), 1985: Primer Seminario Hispanoamericano Sobre Energías No Convencionales Aplicadas a las Telecomunicaciones. Tegucigalpa, Honduras.

LLamosas, B., 1987: Centro de Investigaciones Tecnológicas, Dirección de Investigación, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, proyecto CONICIT 2758: Planta de Procesamiento y Desarrollo Industrial para la Producción de Agar-Agar. La Vela de Coro, Estado Falcón.

OTRAS FUENTES CONSULTADAS

Para la elaboración de la descripción técnica de la presente memoria descriptiva se utilizó como fuente primaria de información los Informes finales de proyectos de investigación realizados por profesores/investigadores de Área de Tecnología UNEFM e Investigadores de la Fundación Instituto de Ingeniería; monografías de proyectos de grado e Informes finales de pasantías realizados en la División de Recursos Naturales, Laboratorio de Energías Alternas del Centro de Investigaciones Tecnológicas (CITEC) y Laboratorio de Energías no Convencionales del Centro de Investigaciones Tecnológicas Industriales y Pesqueras (CITIP) del Decanato de Investigación UNEFM, por estudiantes de los programas de ingeniería del Área de Tecnología de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Universidad del Zulia (LUZ), Universidad Metropolitana (UM), Universidad Rafael, Belloso Chacín (URBE), Universidad Politécnica Antonio José de Sucre (Vicerrectorado de Barquisimeto), así como comunicaciones presentadas en eventos científico-técnicos donde participaron los autores de los referidos trabajos de investigación o para la obtención de título de grado. También se utilizó material de consulta producido por otros centros de Investigación de la UNEFM y por organismos nacionales e internacionales en ámbitos relacionados con la temática abordada.

Acacio, O., Pineda, M., Chirinos, J., 1.988. Diseño Construcción y Prueba de una Turbina Eólica para Accionar un Sistema de Refrigeración. Universidad Francisco de Miranda, Laboratorio de Energías No Convencionales, CITIP, Área de Tecnología, Programa de Ingeniería Industrial. 76 ps.

Arvelo, N. (Departamento Antropología IVIC), Durán, V. (UNEFM), 2.000. Sistema de Suministro de Agua Potable, Climatización y

Energización con Energía Solar Fotovoltaica. Programa de Demarcación de las Tierras Ancestrales de la Etnia Yekuana”, Bajo los Auspicios de la Fundación Otro Futuro, el Departamento de Antropología del IVIC y ONG Indígena del Yukón. Comunidad de Culebra, Municipio Alto Orinoco, Estado Amazonas.

Asociación Venezolana para el Avance de la Ciencia (Asovac), 1.993. Ciencia, Tecnología y Desarrollo Sustentable (Azocar, a., gil, I., ed.). Acta Científica venezolana: 44(1). Iblid. Documentos concernientes al tema central de la XIII Convención Anual de Asovac; Mérida, ULA, pp. 14-19.

Ibid. 1. *Ciencia y Tecnología para los Recursos No Renovables.* 2. *Ambiente y Combustibles Fósiles.* 3. *Investigación y Desarrollo en las Zonas Semi-áridas de Venezuela (Arends A., Durán, F.E., eds.).* 1.994. *Acta Científica Venezolana: 46 11): V-VI (Iblid. Documentos concernientes al Tema Central de la XLIV Convención Anual de ASOVAC; Coro, UNEFM, Nov.)*

Chitty, A., 1.981. Información Eólica detallada para las diferentes Regiones de Venezuela: Ministerio de Energía y Minas, Dirección General Sectorial de Energía, Dirección de Electricidad, Carbón y otras Energías; Caracas. Fascículos varios elaborados para cada región.

Chitty, A., Harris, H., 1.984. Proyecto de Desarrollo de un Sistema de Abastecimiento Energético para una Vivienda Mediante Fuentes Alternas de Energía. Mimeografiado. Fundación Instituto de Ingeniería. Asociación Civil Orinoquia, Caracas.

Colina, B., Martínez, J., Durán, V., Herrera, F., 1.994. Diseño, Construcción y Prueba de un Sistema de Desalinización de Agua

no Convencional con Energía Solar. Universidad Francisco de Miranda, Área de Tecnología, Programa de Ingeniería Industrial; Punto Fijo, Nov.; 66 ps. ilustradas.

Durán, V., Urquiza, C. et al., 1991. Proyecto de Desarrollo de un Sistema de Abastecimiento Energético para una Vivienda Rural de la Península de Paraguaná mediante Fuentes Alternas de Energía. *Acta Científica Venezolana*, Vol. 42, Sup. 1. 137 ps.

Durán, V., 1992. Sistema de Abastecimiento Energético para una Vivienda Rural en la Península de Paraguaná Mediante Fuentes Alternas de Energía. *Memorias del Primer Encuentro Popular de Soluciones Alternativas (UCV; Caracas, 27 Nov: 1º Dic., 1991)*. Ediciones del Rectorado de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, pp. 115-118.

Ibid. 1993. Sistema de Abastecimiento Energético de una Vivienda Rural de la Península de Paraguaná mediante Fuentes Alternas de Energía. *Precongreso de Tecnología Popular (Mérida, 26-27 de Mayo)*, FUNDACITE ARAGUA, pp. 69-71.

Durán, V., Gómez, E., 1993. Proyecto de Desarrollo de un Sistema de Abastecimiento Energético de una Vivienda Rural de la Península de Paraguaná Mediante Fuentes Alternas de Energía. *Abstracts, XIV Asamblea General y Eventos Técnicos de la Federación Mundial de Organizaciones de Ingenieros; La Habana - Cuba, 18 al 23 de Octubre de 1993*.

Durán, V.; Granadillo, P.; Hernández, R., 1994. Programa de Abastecimiento de Agua y Saneamiento Ambiental de las Comunidades Rurales del Estado Falcón (PRAASAF). Secretaría de Desarrollo Agrícola, Gobernación del Estado Falcón, Universidad Francisco de Miranda, Fundación Zumaque. 35 ps.

- Durán, V., 1.997. Proyecto de Escalación a Nivel de Producción Industrial de Generadores Eólicos-Solares de Baja Potencia. FUNDACITE Falcón. 67 ps.
- Durán, V., 1.998. Electrificación Mediante Energía Solar Caserío Cuajarcume, Municipio Urumaco, Estado Falcón. Coordinación del Área de Gestión, Planificación, Presupuesto y Hacienda, Unidad Coordinadora de Proyectos Gobernación del Estado Falcón. Universidad Francisco de Miranda, Laboratorio de Energías No Convencionales, CITIP. 40 ps.
- Durán, V., Gómez, E., (UNEFM), Nieves, D. (Fundación Zumaque, MARAVEN/PDVSA). 1.997. Proyecto de Suministro de Energía Eléctrica a la Comunidad de Jacuque, Auspiciado por La Alcaldía del Municipio Falcón y la Fundación ZUMAQUE/MARAVEN/PDVSA. Municipio Falcón, Estado Falcón.
- Durán, V., Hernández D., 2.006. Diseño de un Sistema de Bombeo energizado con energía Solar Fotovoltaico y Aerobombas para la Comunidad de Productores del Cebollal, Municipio Miranda del Estado Falcón.
- Durán, V., Hernández, D. (UNEFM), Gómez, R., Fraga, J. (FUNDACITE Falcón), 2.007. Programa de Suministro Energético para INFOCENTROS del Estado Falcón, Mediante Plantas de Generación Fotovoltaicas, Auspiciado por la Fundación Infocentros y FUNDACITE Falcón, Ministerio del Poder Popular para la Ciencia y la Tecnología (MPPCyT). Coro, Estado Falcón.
- Duran, V. (UNEFM), Piñero, V., Sánchez, M. (UPTAG), Fraga, J. (FUNDACITE Falcón), 2.015. Diseño de un Sistema de

Generación de Energía Eléctrica-Solar Fotovoltaico de Respaldo para los Equipos que Prestan Servicio en la Academia de Software Libre e Iluminación Exterior del Centro de Información y Documentación de la Universidad Politécnica Territorial Alonso Gamero (UPTAG). Coro, Estado Falcón.

García, W., Hernández, L., Durán, V., Gómez, E., 1991. Diseño de un Desalinizador de Agua con Energía Solar: Tipo Invernadero. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Área de Tecnología, Programa de Ingeniería Industrial; Punto Fijo, Estado Falcón - Venezuela.

Gómez, E., Castro, J., Durán, V., 1993. Construcción e Instalación de un Aerogenerador de Eje Vertical Tipo Musgrove de 5 KW, de Potencia Nominal. Universidad Francisco de Miranda, Dirección de Investigaciones y Extensión Universitaria, Centro de Investigaciones Tecnológicas, División de Recursos Ambientales, Laboratorio de Energías no Convencionales; Punto Fijo, Falcón. 108 Ps.

Gómez, E., y Durán, V., 1993. Planta de Producción de Gas Metano Mediante Biodigestores Anaeróbicos. Laboratorio de Energías no Convencionales, Centro de Investigaciones Tecnológicas (CITEC) Dirección de Investigaciones, Universidad Francisco de Miranda; Punto Fijo, Estado Falcón - Venezuela.

Gómez, E.; Durán, V., 1994. Diseño, Construcción e Instalación de un Aerogenerador de Eje Vertical del Tipo Musgrove de 5 Kw de Potencia Nominal. Universidad de los Andes, Congreso de Ingeniería Mecánica (Mérida, 22-25/03/94), Sumario: 11, pp. 11-22.

Ibid. 1.993d. Diseño, Construcción e Instalación de un Aerogenerador de Eje Vertical del Tipo Musgrove de 4 Kw de Potencia Nominal. Acta Científica Venezolana, Volumen 44, Suplemento 1.

Hernández, L., Laclé, B., Durán, V., Gómez, E., Arcaya, R., 1.994. Estudio de Factibilidad Técnico-Económico para Construir un Desalinizador Solar del Tipo Invernadero en la Comunidad de Puerto Escondido, Península de Paraguaná, Estado Falcón. Acta Científica Venezolana, 46 (1): 154 ps.

Herrera, C., Serfaty, A., Durán, V., 1.993. Diseño y Construcción de un Sistema de Inyección de Aire Comprimido, para la Extracción de Aguas Subterráneas, Mediante el Empleo de un Rotor Tipo SAVONIUS Accionado con Energía Eólica. Universidad Metropolitana, Laboratorio de Energías No Convencionales CITIP, UNEFM. Caracas. 78 ps.

Herrera, C., Medina, S., Durán, V., Urquiza, C., Herrera, F., Paz, R., 1.994. Sistema de Calentamiento de Aceite mediante un Banco de Lupas y Recirculación Fotovoltaica. Universidad Francisco de Miranda, Área de Investigación, CITEC, Laboratorio de Energías no Convencionales.

Herrera, C., Medina, S., Herrera, F., Durán, V., 1.994. Sistema Automatizado de Seguimiento de Sol y Ubicación de Concentradores Solares Cilíndrico-Parabólicos. Universidad Francisco de Miranda, Centro de Investigaciones Tecnológicas (CITEC), Laboratorio de Energías no Convencionales; Punto Fijo.

Herrera, C., Medina, A., Urquiza, C., Durán, V., Herrera, F., Paz, R., 1994. Diseño, Construcción y Prueba de un Concentrador de Energía Solar para el Calentamiento de Agua. Universidad

Francisco de Miranda, Área de Tecnología, Programa de Ingeniería Industrial; Punto Fijo. 71 ps.

Leidenz, E., Lugo, G., Durán, V., 1.992. Diseño, Construcción e Instalación de una Aerobomba de Eje Horizontal de Tipo Multipala. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Área de Tecnología, Programa de Ingeniería Industrial; Punto Fijo. 93 ps.

Méndez, R., Durán, V., Ordoñez, M., Ferrer, J., 1.998. Desarrollo de un Sistema de Regulación de Velocidad para Turbinas Eólicas. Universidad Rafael Belloso Chacín, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Electrónica. Maracaibo. 29 ps.

Morillo, M., Durán, V., Gómez, E., 1.995. Rediseño, Caracterización y Evaluación de un Banco de Colectores Cilíndrico-Parabólicos. Laboratorio de Energías No Convencionales, CITEC, Programa de Ingeniería Industrial. Diciembre, 60 ps.

Mustiola, A., Hernández, E., Durán, V., 2.016. Diseño e Instalación de una Planta Experimental de Generación Fotovoltaica para el Laboratorio de Fuentes de Energía Renovables, del Centro de Investigaciones Tecnologías Industriales y Pesqueras de la UNEFM. Punto Fijo, Estado Falcón.

Organización de las Naciones Unidas., 1.992. Nuestro Futuro Común. Conferencia Mundial de Desarrollo y Medio Ambiente. ONU, Río de Janeiro, Brasil (v.t.: *Agenda de la Región Latinoamericana y del Caribe -Nuestra propia agenda-. ** Ponencia del Estado Venezolano).

Osorio, F., Durán, V., Morillo, N., 1.997. Instalación, Prueba y Caracterización del Sistema de Arranque y Generación de un

Aerogenerador de Eje Vertical del Tipo MUSGROVE de 5 KW de Potencia Nominal. Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica. Maracaibo. 139 ps.

Piñeiro, M., Durán, V., 1.999. Diseño, Construcción y Prueba de un Refrigerador Accionado por un Aerogenerador. Universidad Francisco de Miranda, Laboratorio de Energías No Convencionales, CITIP, Área de Tecnología, Programa de Ingeniería Industrial. 149 ps.

Pereira, E., León, V., 1993. Sistema Automatizado de Toma, Registro y Ordenamiento de Variables Meteorológicas en un Computador Personal. Universidad Francisco de Miranda, Laboratorio de Energías No Convencionales, CITEC, Área de Tecnología, Programa de Ingeniería Industrial. 73 ps.

Savcic, K., Durán, V., Tarantino, R., 1.994. Ingeniería de Detalle y Construcción de un Sistema de Adquisición de Data Ambiental. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Área de Tecnología, Programa de Ingeniería Industrial Punto Fijo. 90 ps.

Sayiga, A. (1984). Solar Energy Engineering. En: A. Chitty, A., Harris, H.

Universidad Central de Venezuela (UCV). 1.992. Primer Encuentro Popular de Soluciones Alternativas. UCV, ediciones del rectorado; caracas. 167 ps.

Universidad nacional Experimental *Francisco de miranda* (UNEFM). 1.992. Instituto de investigación y Desarrollo de las Zonas Áridas y Semi-áridas Tropicales (IIDEZAT).- Proyecto. UNEFM,

Dirección de Investigaciones (DIEU), Consejo Técnico de Investigaciones (CTI); Coro – Venezuela. 220 ps.

Ibid. 1993. Reconstruction of Ecological Changes In a Transect from the Coastal Plains to the Cloud Forest of Northwestern Venezuela with emphasis on the Dry Land: a multi-disciplinary approach. Project, submitted to European Economic Community from: Diaz, M. Coord. (CIEZA/UNEFM), Aparicio, R. (UDO), Cruxent, J.M., Durán, F.E. (CIAAP/UNEPM), Herrera, R. (IVIC), Venezuela; Bennet, K. (University of Cambridge, UK), England; El-Baz, P. (Boston University), USA; Mainguet, M. (Université d' Reims) ; N. Pettit, N. (CNRS), France. UNEFM; Coro – Venezuela. 74 ps.

Use of Renewable Energy in Developed Countries Conference. 1.980
Berlín.

Veroes, R., 1.990. Diseño, Instalación y Prueba de un Desalinizador de Agua de Mar con Energía Solar. Informe. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Área de Tecnología, Programa de Ingeniería Industrial; Punto Fijo.

Villaseca, E., 1.984. Analysis of the Orinoquia Documents. Mimeografiado. Cleveland State University, Cleveland - USA.

Wever, J., Duran, V., 1992. Diseño, Construcción e Instalación de una Aerobomba de Eje Horizontal Multipala. Universidad Francisco de Miranda, Dirección de Investigaciones, CITEC, Laboratorio de Energías no Convencionales. 108 Ps.

Wever, J.; y Durán, V., 1.992. Diseño y Construcción de una Aerobomba de Eje Vertical: Turbina Savonius. Acta Científica Venezolana, 43, ps.

World Federation of Engineers Organizations.,1993. International Conference on Alternative Energy Source. 14th WFWO General Assembly and Technical Meetings (Abstracts); La Habana - Cuba, October 18-23, p.117. (v.: Alternative energy sources. Solutions to current problems).

Yépez, C.; Herrera, M.; Durán, V., 1996. Diseño, Construcción y Prueba de un Aerogenerador de Baja Potencia para Viviendas Rurales Distantes. Universidad Francisco de Miranda, Laboratorio de Energías No Convencionales, CITIP, Área de Tecnología, Programa de Ingeniería Industrial. 95 ps.



Vicente Durán Márquez

(Mérida, 11 de septiembre de 1955).

Ingeniero Industrial. Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) 1.983.

Maestría en Administración de la Educación Superior. Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Título de Magíster Scientiarum en Educación. Mención: “Administración de la Educación Superior“. Caracas, Venezuela. Enero 1.992.

Especialización en Fuentes Renovables de Energía, Instituto Politécnico Superior José Antonio Echeverría, La Habana-Cuba, 1.983.

- Asesor del Rector de la Universidad Politécnica Territorial de Falcón Alonso Gamero (UPTFAG), desde Enero 2.018
- Facilitador Internacional de Talleres y Cursos de Formación para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía: Solar Fotovoltaica, Solar Térmica, Energía Eólica y Sistemas Híbridos Solar Fotovoltaicos y Eólicos en Venezuela y la República de Chile.
- Profesor Titular de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM), Jubilado a partir del 20 de Enero de 2.010, según Resolución del Consejo Universitario en su Sesión CU.1467.01.2010.033.
- Gerente General de la Empresa “Energías Renovables de Venezuela (ENERVEN)”
- Consultor *de* Empresas e Instituciones, Organizaciones no Gubernamentales y Comunitarias e Instituciones de Educación Superior, Centros de Investigación y Desarrollo Nacionales e Internacionales en la Formulación, Evaluación y Ejecución de

Proyectos para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía. Desde el 2.011

- Asesor del Viceministro de Nuevas Fuentes de Energía Eléctrica y Gestión para el Uso Racional de la Energía, Ministerio de Energía Eléctrica (MPPEE). Abril 2.012 hasta Diciembre de 2.013.
- Director de Energías Renovables del Ministerio de Energía y Petróleo, Viceministerio de Energía, Dirección General de Energías Alternativas; Designado Mediante Resolución N° 380 del Ministro del Poder Popular para la Energía y Petróleo, del 12 de Septiembre de 2008, Publicada en la Gaceta de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.127, del 26 de Febrero de 2.009.
- Asesor de la Comisión designada por el Director de la Fundación para el Desarrollo del Servicio Eléctrico (FUNDELEC) - Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo (MPPEP), que se encargó de la elaboración del “Estudio para la Instalación de una Fábrica de Aerogeneradores de Baja Potencia en Venezuela”. Programa de año sabático UNEFM, Venezuela - España (Mayo 2.007 – Mayo 2.008).
- Secretario General de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM). Designado Mediante Resolución N° 33 del Ministro de Educación Cultura y Deportes, de 09 de Febrero de 2.000, Publicada en la Gaceta Oficial de Venezuela N° 36.891, del 14 de Febrero de 2.000, desempeñando el cargo hasta Abril de 2.007.
- Coordinador del Programa de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Alternas (PROALTERNA), que se ejecutó mediante convenio de cooperación Interinstitucional entre la UNEFM y MARAVEN - PDVSA. Noviembre de 1.995 – Marzo de 1.997.
- Jefe de la División de Recursos Naturales y del Laboratorio de Energías no Convencionales del Centro de Investigaciones Tecnológicas; Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda”, desde el 06 Octubre de 1.988 al 17 de Mayo de 1.995.

- Investigador con Categoría de Titular a Dedicación Exclusiva. Centro de Investigaciones Tecnológicas (CITEC), Decanato de Investigación, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda; desde el 16 de Marzo de 1.989 al 17 de Mayo de 1.997. Con posterior adscripción al Centro de Investigación en Tecnología Industrial y Pesquera (CITIP) de Junio de 1.997 a Marzo de 2.010.
- Jefe del Departamento de Gerencia, Área de Tecnología, Universidad Nacional Experimental *Francisco de Miranda*. Octubre 1.984 a Junio 1.987.
- Profesor Titular a Dedicación Exclusiva. Departamento de Gerencia, Programa de Ingeniería Industrial, Área de Tecnología, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Punto Fijo, Estado Falcón. Abril, 1.984 – 2.001. Departamento de Hidráulica, Área de Tecnología 2.001 – 2.010.

PREMIOS, DISTINCIONES Y RECONOCIMIENTOS

- Ganador del Premio Regional de Ciencia del Estado Falcón 2.010, en su Decima Segunda Edición correspondiente a la versión Investigación y Desarrollo Tecnológico. Otorgado por FUNDACITE FALCON, Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, la Tecnología e Industrias Intermedias (MPPCTII). Santa Ana de Coro, Marzo de 2.011.
- Ganador Premio “Tulio Arends a la Investigación Científica, Humanística y Tecnológica”, versión TECNOLOGÍA, otorgado por la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda en su versión de 1.999.
- Medalla de Oro conferida por la participación en el V Salón de los Inventos y Descubrimientos, Valencia, Estado Carabobo, 1.997.
- Arbitro de la Revista Multidisciplinaria Arbitrada “Croaizatia”, Proyecto Editorial de la Universidad Francisco de Miranda. ISSN

Indizado 1317-1197 (latindex catálogo), Volumen 1, N° 2 Julio – Diciembre de 2.000.

- Arbitro de *Energy Research & Social Science (ERSS)*, revista internacional revisada por pares que publica investigaciones originales y artículos de revisión que examinan la relación entre los sistemas de energía y la sociedad. Reino Unido 2.020.
- Profesor invitado, Master en Ingeniería del Agua, Universidad de Sevilla – España, Curso de Verano Junio – Julio de 2.007.
- Miembro del Jurado Evaluador designado por la Ministro del Poder Popular para la Ciencia y la Tecnología para el otorgamiento del Premio Nacional a la Investigación Tecnológica correspondiente a los años 2.005, 2.008 y 2.013.
- Miembro del Jurado Evaluador para el Otorgamiento del Premio “Tulio Arends, versión Tecnología; Conferido por la Universidad Francisco de Miranda en el 2.003 (Coordinador) y en el año 2.006.
- Miembro del Jurado Evaluador para el otorgamiento del “Premio Nacional a la Inventiva Tecnológica“. Designado por el CONICIT en representación de la “Fundación Luís Zambrano”. Caracas 1.996.

ISBN: 978-980-245-129-6



9 789802 451296

Para el Fondo Editorial UNEFM es un compromiso reconocer y divulgar el proceso y resultados de esta investigación que representa la esencia de lo que es esta Alma Mater en materia de producción, calidad, tecnología y servicio. La invitación es a ser parte de este recorrido investigativo que nos dona el profesor Vicente Durán como parte de una trayectoria al servicio de la academia y la sociedad desde la investigación universitaria.

