

**Estimación del Potencial de Producción de Hidrógeno Electrolítico en Venezuela
a partir de Energías Renovables**

F. Posso-Rivera¹

¹Universidad de Los Andes-Universidad Nacional Experimental del Táchira
San Cristóbal, Venezuela
Tel: 00582763421520, fax 00582763045043, mail: fausto@ula.ve

J. Zambrano²

²Decanato de Investigación. Universidad Nacional Experimental de Táchira
San Cristóbal, Venezuela
Tel: 00582763532454, fax 00582763532454, mail: jzambra@unet.edu.ve

ABSTRACT

Se hace una estimación inicial del potencial de producción de H_2 en Venezuela, obtenido por electrólisis del agua a partir de electricidad de origen renovable, considerando para ello la energía solar fotovoltaica, eólica y minihidráulica, todas con grandes potenciales aprovechables en el país. En el caso de la energía eólica y solar, su potencial se obtiene de mapas de insolación y velocidad de viento, elaborados a partir de información satelital; mientras que para la minihidráulica, su potencial se obtiene de información documental. Para el cálculo de la cantidad de H_2 a producir se utiliza el Valor Calorífico Superior del H_2 , considerando para el sistema electrolítico una eficiencia global del 75%, que incluye los requerimientos del electrolizador, equipos auxiliares, y las pérdidas del sistema. Además, en los cálculos del potencial aprovechable se excluyen las áreas de territorio bajo régimen de administración especial, áreas marinas, lacustres y urbanas, y se contemplan otras limitaciones referidas a eficiencias en la conversión energética y áreas útiles disponibles para el emplazamiento de las diferentes tecnologías renovables. Los resultados arrojan una producción de $2,182 \times 10^{10}$ kg H_2 /año, con un aporte del 95 % de solar fotovoltaica. El H_2 producido estaría principalmente destinado a satisfacer las necesidades de energía de un importante sector de población rural (20%), las cuales se cubren completamente, y el remanente podría ser utilizado como insumo químico en procesos industriales, de refinación y petroquímicos, cuya demanda no es totalmente satisfecha con la producción actual de H_2 en el país. Se concluye que estos resultados constituyen el punto de partida de un estudio más detallado, con estimaciones más precisas de los potenciales y que incluya los aspectos económicos asociados con la producción de H_2 por estas vías, tal que permitan determinar la factibilidad del desarrollo del Sistema Solar-Hidrógeno, en sus diferentes modalidades, en Venezuela.

1. Introducción

El sistema energético Solar-Hidrógeno, SESH, puede definirse como un sistema energético en el cual la fuente primaria es algún tipo de energía solar, directa o indirecta, y el Hidrógeno es la fuente secundaria o vector energético. Constituye un sistema limpio, autosuficiente y apropiado para superar los inconvenientes de intermitencia y almacenamiento asociados con la generación eléctrica a partir de estas energías; y por tanto, capaz de motorizar el desarrollo sustentable de un país o región [1]. Una etapa importante en el desarrollo del SESH es la relativa a la producción de H_2 , siendo numerosos los estudios en los que se demuestra la factibilidad de la misma [2-3], mientras que se trabaja intensamente para alcanzar en el mediano plazo, costos de producción competitivos con el convencional proceso de producción por reformado de gas natural, el de más bajo costo en la actualidad, [4].

En América Latina, Brasil es líder en I&D sobre la producción de H_2 a partir de energías renovables, (ER), en especial de hidroenergía, [5-6]. Por su parte, aunque Venezuela exhibe un gran potencial de estas fuentes primarias, su desarrollo es mínimo y, a excepción de la hidroeléctrica en gran escala, sin ningún efecto en el balance energético del país. Si bien el porcentaje de electrificación es cercano al 96%, un importante sector de población rural (25%) no dispone de servicios energéticos permanentes, siendo difícil, costoso, y por lo tanto improbable, su satisfacción por el sistema energético tradicional, [7]. Ya que estos núcleos rurales se encuentran diseminados en todo el país, sus necesidades energéticas podrían ser satisfechas por el SESH en sus diferentes modalidades, superando de esta manera su situación de privación energética. La complementariedad y sinergia entre la electricidad y el H_2 permitirían la autonomía energética de estas zonas aisladas y deprimidas, mejorando su calidad de vida, estimulando la economía local al ser intensivas en empleo, preservando la cultura propia y el desarrollo endógeno sustentable. En ese sentido, se reconoce que cualquier acción que se proponga el desarrollo del SESH, requiere disponer de una estimación primaria del potencial de producción de H_2 ya que constituiría un punto de partida válido para estudios más exhaustivos sobre la viabilidad de un SESH específico. En este contexto se desarrolla este trabajo cuyo principal objetivo es hacer una estimación preliminar del potencial de producción de H_2 electrolítico en Venezuela a partir de aquellos tipos de ER con potenciales de una magnitud apreciable, con vista a su uso como vector energético en sectores rurales del país, y eventualmente como insumo en procesos de mejoramiento de crudos pesados, de refinación y petroquímicos.

2. Las energías renovables en Venezuela

Venezuela exhibe un gran potencial de ER en sus diferentes tipos, tal como se indica en la Tabla 1. Sin embargo, su desarrollo en el país es insignificante, en gran parte debido que Venezuela también tiene grandes reservas de fuentes fósiles, en especial de petróleo, consideradas las mayores del mundo, y cuya explotación intensiva durante más de 60 años, han modelado al sector de la energía, la economía del país e incluso a la sociedad venezolana misma.

**XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno
Aguascalientes, México, 2013**

Tabla 1. Potencial de energías renovables en Venezuela [8]

Fuente	Especificaciones	Potencial (GW)
Minihidro	Hasta 50 MW/instalación	4,5
Bioenergía	Leña, siembras, residuos,	11,7
Energía solar	15 % conversión, 1 % TN ¹ , 0,3 PM ²	157,2
Energía eólica	3 % conversión, 4 % T.N	48,9
Energía Geotérmica	2,5 % TN	5,2
Otras ER	Oceánicas, Híbridos	18,36
Hidro en gran escala		63,8
Total		309,6

¹ Territorio Nacional ² Plataforma marina

Se disponen también de estimaciones más precisas de los potenciales eólico y solar [10-11], expresados en forma de mapas de potencial presentados en la Figura 1, los cuales mapas se han obtenido de mediciones satelitales de valores anuales promedio de velocidad del viento e insolación y correspondientes a cuadrículas de 1° de longitud y latitud, configurando una matriz bidimensional localizada entre los -73 y -60° de longitud oeste y entre los 12° y 1° de latitud norte, Figura 2. Tales valores son la base para el cálculo del potencial de producción de H_2 en Venezuela.

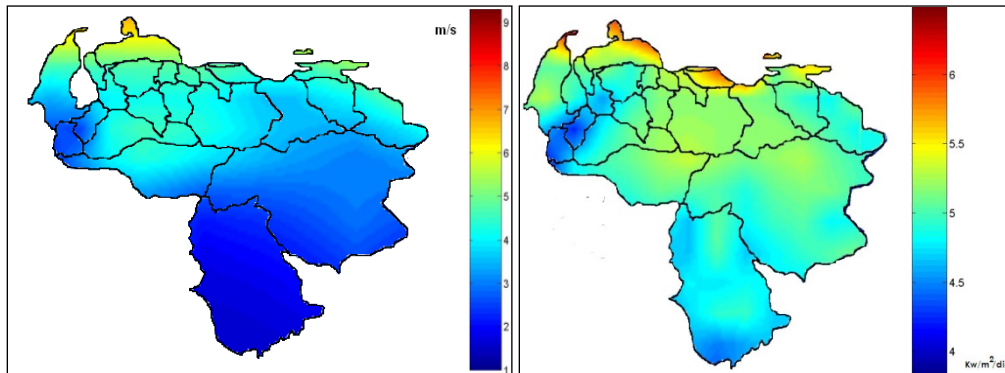


Figura 1. Mapa de vientos (Izquierda). Mapa de insolación (Derecha)

En cuanto al aprovechamiento de las ER, el estado venezolano ha estado impulsando varias acciones de fomento y desarrollo de las mismas, siendo las más importantes: la construcción de dos parques eólicos, ubicados en la zona costera noroccidental, con una capacidad total de generación de alrededor de 200 MW, ya en operación inicial, generando alrededor de 25 MW que se entregan a la red, [11]. Respecto a la energía solar fotovoltaica (FV), el programa Sembrando Luz, destinado a proveer de servicios de energía permanentes y eficientes a poblaciones rurales y aisladas que no disponen de conexión a la red de suministro eléctrico tradicional, ha instalado 3.139 sistemas, con

una potencia total instalada de 2,5 MW abasteciendo a más de 257 mil habitantes de 1.020 comunidades rurales [12]. De otros tipos ER, apenas existen pequeñas iniciativas sin ningún efecto en el balance energético del país.

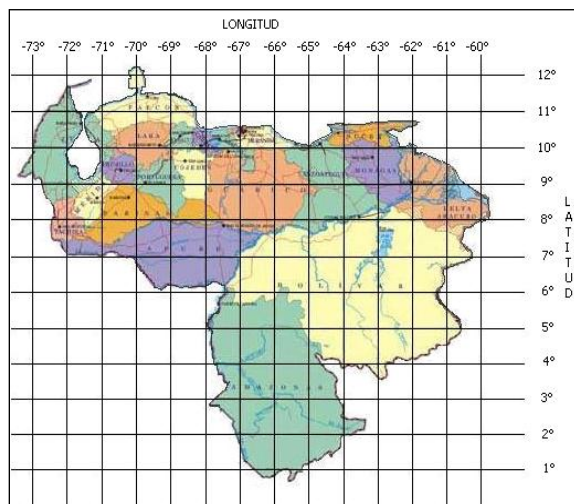


Figura 2. Malla bidimensional utilizada para el cálculo del potencial de H_2

3. El mercado del H_2 en Venezuela

3.1. Producción de H_2

El total de H_2 producido en Venezuela, para el año 2010, alcanza a $4.850 \text{ MNm}^3 H_2$ [12], se produce vía reformado de gas natural, y es de tipo *cautivo*, al consumirse totalmente donde se genera. En la actualidad existe un déficit de H_2 con fines químicos que se estima aumente al incrementarse la actividad petrolera en la Faja del Orinoco y concretarse las expansiones en las plantas petroquímicas, según los planes de desarrollo de PDVSA en el mediano plazo [13]

3.2. Consumo de H_2

El H_2 producido *in situ* se utiliza como insumo en procesos de: a. Mejoramiento de crudos pesados, con el fin de obtener un crudo sintético, *syncrude*, de mayor valor comercial, b. Hidrogenación, en la producción de combustibles derivados del petróleo, y c. Procesos petroquímicos, especialmente para la producción de amoníaco, [12].

Si el H_2 de origen renovable se utiliza como vector para satisfacer de las necesidades de energía del sector de población rural, la cantidad requerida se obtiene considerando que el consumo energético por habitante en dicho sector de Venezuela es de 191 kWh/año y que el número de habitantes a dotar de energía alcanza a 828.000 hab [14],

Entonces, asumiendo una eficiencia del 75 % en la conversión en el proceso de electrólisis respecto al valor calorífico superior del H_2 (HHV), se obtiene:

$$C_{H_2} = \frac{C_{PC} N_H}{FCE} \quad (1)$$

$$C_{H_2} = \frac{\left(191 \frac{kWh}{año\ hab}\right)(828.000\ hab)}{\left(52,5 \frac{kWh}{kg\ H_2}\right)} = 3.012.342,86 \frac{kg\ H_2}{año} \quad (2)$$

4. Producción de H_2 en Venezuela a partir de ER

4.1. Consideraciones generales

En este estudio se consideran como fuentes primarias renovables para la producción de H_2 a la energía solar directa de tipo fotovoltaico, y a la solar indirecta en sus opciones: minihidráulica y eólica, todas con un gran potencial aprovechable en Venezuela, [8]. En todos los casos, el H_2 se producirá por electrólisis del agua con electricidad generada a partir de las ER seleccionadas, (Figura 3). Ya se ha dicho que se utiliza el HHV como base energética de cálculo, y una eficiencia global del 75% , que incluye los requerimientos del electrolizador y equipos auxiliares, y las pérdidas del sistema electrolítico, [2].

Por otra parte, en la determinación del área territorial disponible para el aprovechamiento del potencial de ER, se toman en cuenta ciertas restricciones asociadas con: a. Las Áreas bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), definidas como áreas naturales protegidas y que abarcan una superficie equivalente al 46% del territorio nacional, [15], incluyendo parques nacionales y recreativos, monumentos naturales, reservas de biosfera y de fauna silvestre. También se excluyen las áreas urbanas, obtenidas de mapas de distribución geográfica de las aglomeraciones urbanas [16], y cuyo porcentaje de ocupación se toma en cuenta en la cuadrícula que corresponda según la distribución geopolítica de estos asentamientos.

4.2. Producción de H_2

En este caso, el SESH básicamente consiste del acoplamiento de un sistema de generación eléctrica FV, eólico y minihidráulico con un sistema electrolítico. Aunque su desarrollo y utilización masiva implica la superación de varios desafíos tecnológicos y económicos, constituye una de las rutas más promisorias para la producción de H_2 renovable [17-18]. Por otra parte, tomando en cuenta que se trata de un estudio de potencialidades, se asume que toda la energía producida por el medio renovable será utilizada en el proceso de transformación a H_2 . Las posibles rutas para la producción de H_2 se presentan en la Figura 3.

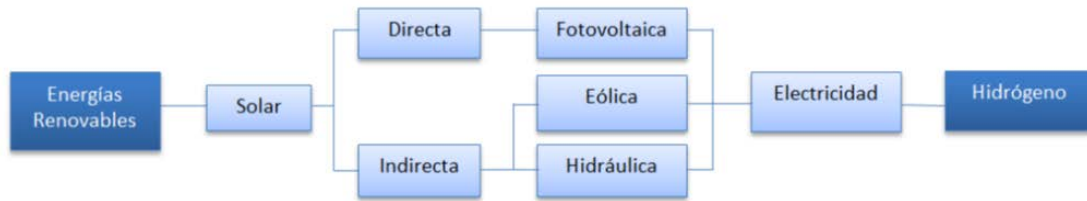


Figura 3. Rutas para la producción de H_2 electrolítico a partir de algunas ER

4.2.1. Establecimiento de áreas aprovechables

Para la obtención de la potencialidad de la energía solar fotovoltaica y la energía eólica se tomará como información primordial la suministrada por la NASA [19], que consiste de valores representativos de ciertas variables meteorológicas y correspondiente a la malla bidimensional representada en la Figura 2, en la cual cada una de las 89 cuadrículas tiene un área de 12.100 km^2 . Tomando en cuenta que el procedimiento para determinar la producción de H_2 es el mismo para todas las cuadrículas que comprenden el territorio venezolano, a modo de ilustración se presenta el cálculo para una de ellas, la número 34, seleccionada por exhibir un valor de insolación muy cercano al promedio nacional. El área útil por cuadrícula (A_U) como función del área de cuadrícula, el $ABRAE$, y el factor de área disponible ($f_{A,D}$) se presenta en la ecuación (3).

$$A_U = A_C \cdot ABRAE \cdot f_{A,D} \quad (3)$$

El área neta de la cuadrícula, ($A_{N,C}$), se obtiene de la ecuación (4), considerando el factor poblacional (f_P)

$$A_{N,C} = A_U (1 - f_P) \quad (4)$$

Los parámetros influyentes en el cálculo del ($A_{N,C}$) se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros que influyen en la selección del área aprovechable

Parámetro	Valor
$A_C \text{ (km}^2\text{)}$	12.100
$ABRAE$	54%
$f_{A,D}$	1%
f_P	0%

Finalmente se tiene que $A_U = 65\text{ km}^2$ y $A_{N,C} = 65\text{ km}^2$.

4.2.2. Modelo FV

El modelo propuesto utiliza una modificación del modelo simple del Energyplus Engineering Reference [20] en el cual la radiación incidente sobre el panel fotovoltaico se multiplica por varios factores de eficiencia correspondientes a los parámetros que ajustan la potencia máxima aprovechable. La ecuación (5) expresa la potencia instantánea producida de un sistema FV:

$$P_{FV} = G_T A_{N,FV} f_{activ} \eta_{celda} \eta_{inv} \eta_{otros} \quad (5)$$

Donde G_T es la radiación total instantánea, N_{panel} el número de paneles FV, $A_{N,FV}$ es el área neta superficial con paneles FV, f_{activ} es la fracción de área superficial con celdas fotovoltaicas activas, η_{celda} es la eficiencia de conversión del módulo, η_{inv} es la eficiencia de conversión del inversor DC-AC y el parámetro η_{otros} es propuesto por la CEC [21] tal como se presenta en la ecuación (6), donde η_{std} corresponde a la desviación de las condiciones estándar de prueba, η_{temp} es el factor de reducción por temperatura, η_{perd} es el factor de reducción por pérdidas eléctricas y η_{sucio} es el factor de reducción por sucio y polvo.

$$\eta_{otros} = \eta_{std} \eta_{temp} \eta_{perd} \eta_{sucio} \quad (6)$$

Asimismo, la insolación promedio anual con base diaria ($\overline{\Phi}_{diaria}$) como función de la $G_{T(i)}$ es:

$$\overline{\Phi}_{diaria} = \frac{\sum_{i=1}^{8760hr} G_{T(i)} \Delta t_i}{365 \text{ día}} \quad (7)$$

De (5), (6) y (7) y considerando que Δt_i corresponde a un paso de $1hr$, la energía anual por medio fotovoltaico ($E_{FV,anual,C}$) se presenta en la ecuación (8):

$$E_{FV,anual,C} = (365 \text{ día}) \overline{\Phi}_{diaria} A_{N,FV} f_{activ} \eta_{celda} \eta_{inv} \eta_{std} \eta_{temp} \eta_{perd} \eta_{sucio} \quad (8)$$

En la Tabla 3 se presentan los parámetros asociados a la obtención de la energía solar FV para cualquier cuadrícula, y, específicamente para la cuadrícula 34, de la ecuación (8) se obtiene:

$$E_{FV,anual,C} = 1,515 \times 10^{10} \text{ kWh/año}$$

**XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno
Aguascalientes, México, 2013**

Tabla 3. Parámetros que influyen en la selección del área aprovechable [19], [21-22].

Parámetro	Valor
$\bar{\Phi}_{diaria} \left(\frac{kWh}{m^2 \text{ dia}} \right)$	5,55
$A_{N,FV} = A_{N,C} \left(km^2 \right)$	65,34
f_{activ}	86,5%
η_{celda}	20,8%
η_{inv}	90%
η_{std}	95%
η_{temp}	90%
η_{perd}	95%
η_{sucio}	93%

4.2.3. Modelo eólico

Esta vía para la obtención de H_2 renovable ha suscitado un gran interés, en especial para el caso de sistemas híbridos, en unión de sistemas solares FV y Térmicos [17]. Para el cálculo del potencial de producción de H_2 , sólo se toman en cuenta aquellas cuadrículas de la malla bidimensional con vientos de Clase 2 o superiores; es decir, vientos con una velocidad igual o superior a 4,4 m/seg., considerados económicamente viables para la generación de electricidad con la tecnología actual o por desarrollarse en el corto plazo [2], lo cual significa considerar el 20 % de las cuadrículas. Para predecir la producción energética del sistema eólico también se utilizará un modelo simplificado que se muestra en la ecuación (9), para el cual se utilizará como referencia la curva de funcionamiento de un aerogenerador comercial para bajas velocidades que se ha seleccionado [23], la cual se presenta en la Figura 4, y de la que se obtiene directamente la potencia máxima como función velocidad de viento $\left(P_{aero(v_{viento})} \right)$. También se consideran la eficiencia del inversor DC-AC (η_{inv}) y el factor correspondiente a pérdidas eléctricas (η_{perd}).

$$P_{eolica} = P_{aero(v_{viento})} \eta_{inv} \eta_{perd} \quad (9)$$

La energía anual captada por medio eólico en cada cuadrícula $\left(E_{eolica,anual,C} \right)$, se calcula de la P_{eolica} eólica como función de la velocidad promedio anual del viento obtenida de la NASA [19], del número de turbinas eólicas del parque $\left(N_{turb} \right)$ y del factor de efectividad del arreglo f_{arr} ; como se muestra en la ecuación (10).

$$E_{eolica,anual,C} = N_{turb} f_{arr} \sum_{i=1}^{8760hr} P_{eolica(i)} \Delta t_i \quad (10)$$

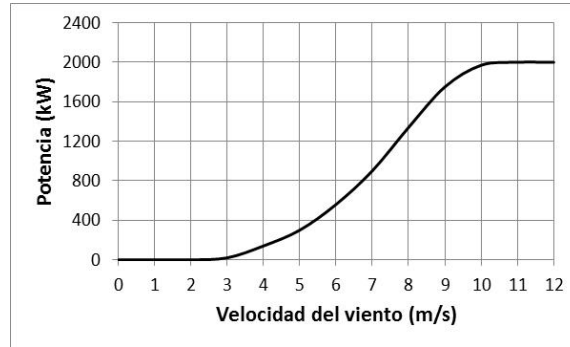


Figura 4 Curva de potencia para el aerogenerador seleccionado, $P = 2.000 \text{ kW}$ $D = 110 \text{ m}$ [23]

Área de ocupación de turbinas eólicas

Debido a la interferencia fluido dinámica, normalmente los parques eólicos producen menor cantidad de energía que la suma de los mismos aerogeneradores colocados de forma aislada, tal que se debe optimizar la ubicación de aerogeneradores dependiendo de las características del viento y del tipo de terreno. De estudios realizados se ha encontrado que una separación de los aerogeneradores de 8 a 10 diámetros de rotor (D) en la dirección predominante de viento y $5D$ en la dirección perpendicular resulta en pérdidas de energía menores al 10% [24-25]. Con la intención de considerar un arreglo que minimice las fallas, se propone la configuración de la Figura 5.

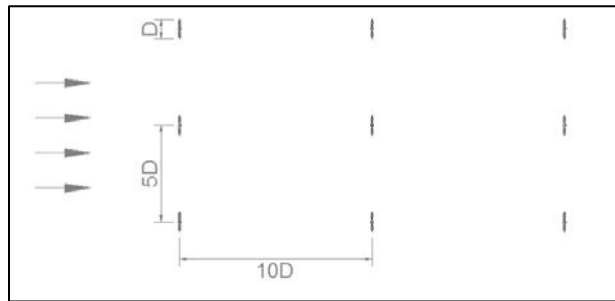


Figura 5 Arreglo seleccionado para el modelo eólico

Para el arreglo seleccionado, el área equivalente de cada aerogenerador es de $5D \times 10D$, equivalente a 605.000 m^2 , entonces, tomando como referencia el área neta de la cuadrícula ($A_{N,C}$), se tiene que en ella se pueden colocar aproximadamente 81 turbinas. Considerando el aerogenerador seleccionado, que la velocidad media del viento en la cuadrícula ejemplo para el caso eólico (N° 4), es de $6,18 \text{ m/s}$, que los factores de eficiencia son similares a los presentados en el caso fotovoltaico y que el factor de eficiencia del arreglo (f_{arr}) es del 90%, se tiene que la energía eólica anual total de la mencionada cuadrícula, según la ecuación (10) es:

**XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno
Aguascalientes, México, 2013**

$$E_{eolica,anual,C} = 3,363 \times 10^8 \frac{kWh}{año}$$

4.2.4. Modelo mini hidráulico

Para la obtención del potencial mini hidráulico, se toma la información de la Tabla 1, en la cual la capacidad de producción para este rubro (P_{MH}) es $4,5 GW$, y considerando que este recurso puede aprovecharse continuamente, puede decirse que la energía mini hidráulica anual en todo el país está dada por la ecuación(11):

$$E_{MH,anual} = P_{MH} (8760hr) \quad (11)$$

Resultando:

$$E_{MH} = 3,942 \times 10^{10} \frac{kWh}{año}$$

4.2.5. Energía renovable total

Para obtener la energía renovable anual total (E_T) que potencialmente pueda ser utilizada con fines de producción de H_2 , se debe sumar la energía producida en cada cuadrícula para los recursos FV y eólico, para posteriormente incorporar la energía minihidráulica, de acuerdo con las ecuaciones (12).

$$E_T = E_{T,FV} + E_{T,eolica} + E_{T,MH} \quad E_{T,FV} = \sum_{i=1}^{89} E_{FV,anual,C}(i) \quad E_{T,eolica} = \sum_{i=1}^{89} E_{eolica,anual,C}(i) \quad (12)$$

La energía renovable anual total y para cada fuente resulta:

$$\begin{aligned} E_T &= 1,146 \times 10^{12} kWh/año \\ E_{T,FV} &= 1,088 \times 10^{12} kWh/año \\ E_{T,eolica} &= 1,825 \times 10^{10} kWh/año \\ E_{T,MH} &= 3,942 \times 10^{10} kWh/año \end{aligned}$$

4.2.6. Calculo de cantidad de H_2 a obtener

Para el cálculo del H_2 a obtener se utiliza la ecuación (15) en cual se requiere la energía renovable total (ET) y el factor de conversión energética del hidrógeno (FCE).

$$m_{H_2} = \frac{E}{FCE} \quad (12)$$

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

Finalmente la cantidad anual de H_2 para cada fuente renovable y total se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados por tipo de energía renovable y total

Tipo de ER	Producción de H_2 (kg/año)	Aporte (%)
FV	$2,072 \times 10^{10}$	94,96
Eólica	$3,477 \times 10^8$	1,59
Minihidráulica	$7,509 \times 10^8$	3,45
Total	$2,182 \times 10^{10}$	100

5. Conclusiones

Se ha determinado el potencial total de producción de H_2 en Venezuela por electrólisis del agua y con suministro de electricidad de origen renovable, considerando la energía solar FV, energía eólica y energía minihidráulica, todas con amplios potenciales aprovechables en Venezuela. De todas ellas, la primera es la de mayor aporte debido principalmente a un potencial aprovechable distribuido en todo el país, lo cual no sucede en las dos restantes. El total de H_2 producido cubre totalmente los requerimientos de energía de la población rural desasistida de energía eléctrica, pudiendo el remanente utilizarse como insumo en procesos químicos de diferente índole. Estos resultados constituyen un punto de partida de estudios más elaborados y exhaustivos que incluyan aspectos económicos, sociales y ambientales involucrados en un desarrollo intensivo del H_2 como vector energético en Venezuela.

6. Nomenclatura

Variables				Subíndices			
<i>A</i>	Área	<i>G</i>	Radiación solar	<i>A</i>	Área	<i>N</i>	Neto
<i>cuad</i>	Cuadrícula	<i>m</i>	Masa	<i>activ</i>	Activo	<i>P</i>	Poblacional
<i>D</i>	Diámetro	<i>N</i>	Número	<i>arr</i>	Arreglo	<i>PC</i>	Per cápita
<i>E</i>	Energía	<i>P</i>	Potencia	<i>C</i>	Cuadrícula	<i>perd</i>	Pérdida eléctrica
<i>f</i>	Factor	<i>C</i>	Consumo	<i>celda</i>	Celda FV	<i>std</i>	Estándar
<i>FCE</i>	Factor de conversión de energía	$\bar{\Phi}$	Insolación	<i>D</i>	Disponibile	<i>T</i>	Total
		η	Eficiencia	<i>FV</i>	Fotovoltaico	<i>temp</i>	Temperatura
				<i>H</i>	Habitante	<i>turb</i>	Turbina
				<i>inv</i>	Inversor	<i>U</i>	Útil
				<i>MH</i>	Minihidráulico		

7. Agradecimientos

Se agradece al CDCHTA de la Universidad de Los Andes y al Decanato de Investigación de la UNET por su apoyo financiero e institucional

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

8. Referencias

- [1] S. Dunn, Int. J. Hydrogen Energy, 27, 235 (2002)
- [2] J. Levene, M. Mann, R. Margolis, and A. Milbrandt, Conference Paper NREL/CP-560-37612 (2005)
- [3] N. Meng, Int. J. Hydrogen Energy, 28, 332 (2003)
- [4] R. Guerrero and J. Martínez, Int. J. Hydrogen Energy, 35, 3929 (2010)
- [5] E. P. Da Silva, Solar Energy, 78, 670 (2005)
- [6] E. de Lima, and T. Veziroglu, Int. J. Hydrogen Energy, 26, 39 (2001)
- [7] ____PODER Plan Operativo de Energías Renovables. Ministerio de Energía y Minas. Venezuela (2002)
- [8] J. Martínez, J. Potencial Energético de los Recursos Aprovechables. Ministerio de Energía y Minas. Venezuela (2002)
- [9] N. Fumo y J.C. Colmenares. Acta Científica Venezolana, 56 (Supl 1), 300 (2005)
- [10] L. López, L. Trabajo de Grado. Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional Experimental del Táchira (2005)
- [11] ____ Sembrando Luz: logros en cifras 2005-2012. FUNDELEC. Ministerio de Energía Eléctrica (2005)
- [12] ____ PODE: Petróleo y otros datos estadísticos. Ministerio de Energía y Petróleo. Venezuela (2010)
- [13] ____ PetroGuía, 20 (2005)
- [14] A. Contreras, F. Posso, T. Veziroglu, T. Int. J. HydrogenEnergy 32, 1219 (2007)
- [15] M. Salas(2011) Cuadernos del CENDES, 28, 1 (2011)
- [16] N. Pulido, Revista Geográfica Venezolana, 52, 101 (2011)
- [17] R.E. Clarke, S. Giddey, F.T. Ciacchi, B. Paul, J. Andrews Int. J. Hydrogen Energy 34, 2531 (2009)
- [18] E. Akyuz, Z. Oktay,, I. Dincer (2012) Int. J.Hydrogen Energy, 37, 16623 (2012)
- [19] National Aersopatial Administration, "Surface meteorology and Solar Energy," NASA, [Online]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi>. [Accessed 10 Febrero 2013].
- [20] U.S. Department of Energy, Energyplus Engineering Reference, U.S. Department of Energy, 2010.
- [21] California Energy Comission, A guide to photovoltaic system design and installation, Sacramento, CA: California Energy Comission, 2001.
- [22] Sanyo Components Co., "HIT Photovoltaiv Module," 2012. [Online]. Available: <http://www.sanyo-solar.eu>. [Accessed 01 07 2012].
- [23] Vestas Wind Systems, "Vestas Wind Systems," 2013. [Online]. Available: <http://nozebra.ipapercms.dk/Vestas/Communication/Productbrochure/2MWbrochure/2MWProductBrochure/>. [Accessed 10 02 2013].
- [24] J. Manwell, J. McGowan and A. Rogers, Wind Energy Explained, Wiltshire: Wiley, 2009.
- [25] E. Bossanyi, G. Maclean, P. Whittle, N. Lipman and P. Musgrove, "The Efficiency of Wind Turbine Clusters," in *Third International Symposium on Wind Energy Systems*, Lyngby, 1980.