

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE ESTUFAS HÍBRIDAS, ECOLÓGICAS, EFICIENTES, DE BAJO COSTO, CON GAS CARBURANTE DE HIDRÓGENO

Por M. Sc., Ing. **Ángel Eugenio Infante Haynes**, Ing. **Zoilo Bienvenido Suarez Pérez****,
Ing. Gerardo Hernández Ramírez*** y **Wilson Santos Guerrero*****
Facultad de Ingeniería, Universidad de Holguín, Ministerio de Educación Superior, MES, Cuba.

* Profesor auxiliar. Universidad de Holguín, Cuba.

E-mail: ehaynes@uho.edu.cu

** Universidad de Holguín, Cuba.

E-mail: zsuarezp@uho.edu.cu

*** Facultad de Ingeniería, Universidad de Holguín, Ministerio de Educación Superior, MES, Cuba.

Resumen

En el presente trabajo se realizó el diseño de una cocina eficiente, ecológica y de bajo costo, con la novedad del uso como gas carburante el hidrogeno, a partir de su obtención en celdas de separación electrolítica a partir del agua, aplicando el software Solidword, para dar respuesta, en primer lugar, a la cocción de alimentos como alternativa al suministro de gas licuado del petróleo, keroseno y al ahorro de electricidad, dadas las condiciones de bloqueo impuestas por la administración norteamericana; en segundo lugar, al saneamiento de los residuales de carpinterías y otros lugares que existen en la ciudad de Holguín; y en tercer lugar, darle solución a otro problema ambiental, la acumulación de sargazos en la playas del país, con alto grado de metales pesados y arsénico, y que afecta esos entornos turístico. Esta biomasa pudiera convertirse en briquetas, con un alto valor calorífico y pudiera ser una opción de ayuda a las familias que viven cerca de las costas y con bajos ingresos, teniendo en cuenta que además, con la cocina se ahorraría 50 % de lo utilizado en las cocinas convencionales de leña. Por otro lado, se pudieran aprovechar las briquetas de serrín y papel como resultado de los residuos sólidos de las empresas. Otras de las variantes de esta estufa que la hace híbrida, es cuando se diseñan con dos hornillas: una trabajaría con biomasa sólida y la otra con biogás, o hidrógeno, o ambos combustibles juntos. Se debe destacar también que no solo es una solución para los hogares, sino también para unidades militares, tanto en puntos fijos como en maniobras, así como para las empresas, escuelas, seminternados, círculos infantiles y unidades de salud públicas. Se detalla un circuito en dos variantes para uso como gas carburante el hidrógeno, así como las características de diseño de sus partes y componentes.

Palabras clave: Solidword, biomasa, agroenergía, gas carburante hidrógeno.

DESIGN AND FABRICATION OF ECO-FRIENDLY, EFFICIENT AND LOW-COST HYBRID COOKSTOVES; WITH USE OF HYDROGEN FUEL GAS

Abstract

The generation of waste organic solids and residual water of industrial process with discharges loads pollute the present paper, the design of an efficient, ecological and low cost stove was carried out, with the novelty of using hydrogen as fuel gas, from its obtaining in electrolytic separation cells from water, applying the Solidword software, to give an answer, firstly, to the cooking of food as an alternative to the supply of liquefied petroleum gas, kerosene and to the saving of electricity, given the blockade conditions imposed by

the North American administration; secondly, to the sanitation of waste from carpentry shops and other places in the city of Holguin; and thirdly, to provide a solution to another environmental problem, the accumulation of sargassum on the country's beaches, with a high level of heavy metals and arsenic, which affects these tourist environments. This biomass could be converted into briquettes, with a high calorific value and could be an option to help families living near the coasts and with low income, taking into account that in addition, the stove would save 50% of what is used in conventional wood stoves. On the other hand, sawdust and paper briquettes could be used as a result of solid waste from companies. Another variant of this stove that makes it hybrid, is when it is designed with two burners: one would work with solid biomass and the other with biogas, or hydrogen, or both fuels together. It should also be noted that it is not only a solution for homes, but also for military units, both at fixed points and on maneuvers, as well as for companies, schools, boarding schools, children's circles and public health units. A circuit in two variants for the use of hydrogen as fuel gas is detailed, as well as the design characteristics of its parts and components.

Keywords: Solidwood, biomass, agroenergy, hydrogen fuel gas.

I. Introducción

Según la Agencia Internacional de Energía, la dependencia de energía basada en combustibles fósiles no es sostenible, tanto en términos de seguridad del suministro como de sus efectos ambientales [FAO, 2008]. Sin embargo, la agroenergía dispone del potencial para contribuir a satisfacer, al menos en parte, la creciente demanda energética. En este sentido ello exige el desarrollo de nuevos conocimientos y políticas que promuevan el acceso a la energía mediante técnicas de energía del agro, pero logrando una seguridad alimentaria sin afectaciones al medioambiente; por tanto, las iniciativas que se desarrollen pueden ofrecer nuevas oportunidades a las comunidades rurales. Una de ellas es la producción de energía a partir de la biomasa en sistemas agroforestales integrados, que permitan compatibilizar la seguridad alimentaria y la protección ambiental; en 2007 la biomasa se utilizó para satisfacer alrededor de 10 % de la demanda mundial de energía primaria [FAO, 2008].

En los últimos 20 o 30 años, la presión causada por el crecimiento demográfico y la explotación comercial de los bosques en el Tercer Mundo, han causado que la leña sea cada día más escasa. Son muchas las comunidades, tanto urbanas como rurales, que están enfrentando problemas de escasez de biomasa para la cocción y, por su alto costo, no pueden darse el lujo de otras fuentes de energía como el kerosene, electricidad o gas. Teniendo en cuenta estas últimas tecnologías para mejorar la salud, el sustento y la calidad de la vida al reducir la exposición a la contaminación del aire intradomiciliario, sobre todo entre mujeres y niños, debido al uso de combustible en la casa. Por lo que se debe trabajar para aumentar el uso de prácticas limpias, confiables, comprables y eficientes de cocción y calefacción en el hogar, que reduzcan la exposición de las personas a la contaminación del aire en el interior de la vivienda, principalmente en países en vías de desarrollo.

La contaminación del aire intradomiciliario causa serios problemas de salud para dos mil millones de personas en todo el mundo que usan biocarburantes tradicionales para sus necesidades de cocción y calefacción, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). En los últimos años han crecido la sabiduría sobre el costo ambiental y social del uso de combustibles tradicionales y de estufas, y los conocimientos

sobre formas de reducir las emisiones de estas cocinas. No obstante, las estufas mejoradas actualmente disponibles a los clientes pobres no siempre representan la mejor práctica, o un concepto del diseño que se base en la ingeniería moderna, es por eso que se debe tener en cuenta: que se use menos material de combustión (leña, briquetas) para hacer fuego y que el humo tóxico salga afuera del lugar donde se cocine, que no haya accidentes por volcamiento de las cazuelas, que no afecte el cuerpo por la posición de agachados, que no se irriten los ojos por el humo, que la preparación de la comida sea higiénica, y que tenga buen sabor.

II. Materiales y métodos

Materiales

1. Tubo de acero de 2000x100x3 mm
2. Platinas de acero 1000x500 mm
3. Barra de acero 1000x10 mm
4. Bisagras de metal, 6
5. Plancha de madera 1000x500x10 mm
6. Ruedas de gomas, 2
7. Perfil L 2000x150 mm
8. Electrodo para acero, 1 kg

Métodos

Diseño con Software Profesional Solidworks Premium 2016.

III. Desarrollo

Lo basamentos preliminares del trabajo de las cocinas eficientes y su desarrollo histórico, se encuentran publicados en Haynes y col. [2019].

En particular en ese artículo se expresaron los principios del Dr. Larry Winiarski, a tener en cuenta a la hora del diseño, fabricación y puesta en marcha de una estufa, y ellos son:

1. *En la medida de lo posible, es necesario aislar alrededor del fuego con materiales livianos y resistentes al calor. Si es posible, no use materiales pesados como la arcilla y la arena.*
2. *Instalar una chimenea corta y aislada directamente encima del fuego. Esa chimenea estimula una*

fuerte corriente de aire y hace que el fuego queme caliente y feroz. La chimenea debe ser aproximadamente tres veces más alta que su diámetro.

3. *Calentar y quemar las puntas de los palos a medida que se expongan al fuego.* Si únicamente la madera que se quema está caliente, habrá mucho menos humo. Intente que el resto del madero esté tan frío que no pueda estar incandescente ni hacer humo.
4. *Crear temperaturas altas y bajas según la cantidad de leña que se expone al fuego.* Ajuste la cantidad de gas y el fuego creado conforme a la tarea prevista. (La madera se calienta y emite gas. El gas prende fuego y crea calor).
5. *Mantener una corriente de aire buena y rápida en todo el carburante.* Justo como soplar el fuego o el carbón puede crear calor, tener una corriente apropiada ayudará a mantener altas temperaturas en su estufa. Un fuego caliente es un fuego limpio.
6. *La falta de corriente de aire en el fuego resulta en humo y exceso de carbón.* Sin embargo, demasiado aire enfría al fuego y no es útil. Aberturas más pequeñas en el fuego ayudan a reducir el exceso de aire. Mejorar la eficiencia del intercambio térmico a la olla o plancha es el factor más importante que reducirá el uso de combustible en una estufa de cocina. Mejorar la eficiencia de combustión reduce la contaminación, pero es menos importante cuando se pretende ahorrar leña.
7. *La abertura al fuego, el tamaño de los espacios dentro de la estufa por donde pasan los gases calientes y la chimenea externa deben ser aproximadamente del mismo tamaño.* Esto se llama mantener una superficie transversal consistente y ayuda a mantener una corriente pareja en la estufa. Una buena corriente no solo mantiene el calor del fuego, sino que también es esencial para que el aire caliente creado por el fuego pueda transferir efectivamente su calor a la olla.
8. *Usar una reja debajo del fuego.* No ponga los maderos en el piso de una cámara de combustión; tiene que pasar aire por debajo de los que se queman, por el carbón y dentro del fuego.
9. *Aislar la trayectoria del aire caliente.* Los materiales aislantes en una estufa mantienen calientes los gases de combustión para que calienten mejor la olla o la plancha.
10. *Aumentar el intercambio térmico de la olla con espacios adecuados.* Transmitir calor a una cazuela o a una plancha es más fácil con canales pequeños. Los gases calientes de combustión están forzados por estos canales estrechos, donde rozan las cazuelas o la plancha. Si los canales son muy grandes, los gases pasan por el centro y no transfieren todo su calor a la superficie apropiada.

Forzar que los gases de combustión pasen por la superficie de una olla o plancha por un canal angosto es una estrategia de diseño popularizada por el Dr. Samuel Baldwin y el Dr. Larry Winiarski. En 1982, el Dr. Winiarski creó una falda para ollas, un cilindro de metal delgado que

rodea la olla, formando un canal estrecho y mejorando la eficiencia del intercambio térmico.

Reducción de emisiones de dióxido de carbono

Una de las contribuciones más relevantes del uso de estufas eficientes está relacionada con el potencial de reducir la degradación de los bosques existentes, asociado a prácticas extractivas insostenibles y su impacto sobre el cambio climático global. De acuerdo al IPCC [2007], 17 % de las emisiones mundiales de CO₂ se deben a la deforestación, y aunque de acuerdo a FAO [2008] el consumo de combustibles leñosos ha fluctuado entre 1800 y 1900 millones de metros cúbicos en la última década, no se tiene certeza de qué porcentaje de las emisiones de dióxido de carbono corresponde a la utilización de leña para propósitos domésticos. Como en cualquier combustible, el carbono y el hidrógeno le confieren las propiedades térmicas a la madera que, al incinerarse eficientemente, generan dióxido de carbono y vapor de agua como productos residuales del proceso; sin embargo, cuando se produce una combustión ineficiente se generan gases no deseados como el metano (CH₄), el monóxido de carbono (CO) y óxido nitroso (N₂O), los cuales presentan un potencial de efecto invernadero mucho mayor que el CO₂.

Uso del hidrógeno como vector energético y gas carburante

Esta estufa tiene la novedad del hidrógeno como vector energético y gas carburante. Es posible diseñar y construir equipos y dispositivos que puedan aprovechar el hidrógeno como vector energético, es decir, como una fuente potencial de energía renovable que evitará el deterioro del medioambiente y que en un futuro cercano transformará las relaciones sociales y económicas en todo el planeta hacia una economía energética sostenida [Aguinaga, 2009].

La situación energética actual, con problemas de contaminación, cambio climático, conflictos internacionales motivados por el acceso a los recursos, y agotamiento de combustibles fósiles, precisa nuevas tecnologías, entre ellas se destaca el hidrógeno, al que muchos le asignan el papel de desplazar a los combustibles fósiles para llegar a basar nuestro futuro en la «economía del hidrógeno».

Todo indica que el futuro de la energía pasa por el hidrógeno, el combustible más limpio que existe, versátil y muy eficaz, un combustible revolucionario, ya que transformará las relaciones sociales y económicas en todo el mundo, y que también supone una esperanza en la conquista de una economía energética sostenida.

Las ventajas de la utilización del hidrógeno como carburante son loables: es una fuente de energía abundante y su combustión sólo origina vapor de agua y calor, además de ser un sistema energético no contaminante y silencioso.

El mecanismo para obtener hidrógeno es un dispositivo (electrolizador) que puede utilizarse de forma híbrida, energía eléctrica producida por la energía renovable solar y eólica para producir hidrógeno mediante la electrólisis del agua.

Ese hidrógeno puede utilizarse como gas natural directamente para cocinar, calentar agua o para climatización del hogar, o en pilas de combustible para regenerar energía eléctrica de usos domésticos común (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales propiedades físicas del hidrógeno

Propiedades físicas del hidrógeno	
Símbolo químico	H ₂
Peso molecular	2,016
T. ebullición (1 atm)	-252,8 °C
T. crítica	-239,9 °C
Presión crítica	1 atm
Densidad estado gaseoso (20 °C, 1 atm)	0,08342 kg/m ³
Densidad en estado líquido (p.e. 1 atm)	70,96 kg/m ³
Peso específico (aire=1)	0,0696

Breve reseña de electrólisis del agua y la producción de hidrógeno gaseoso

Uno de los métodos más utilizado, la electrólisis, proceso mediante el cual se hace pasar una corriente eléctrica, en nuestro caso directa, entre electrodos inertes sumergidos en agua, y así separar sus moléculas en sus elementos constitutivos: hidrógeno y oxígeno, como se muestra en la Fig. 1.

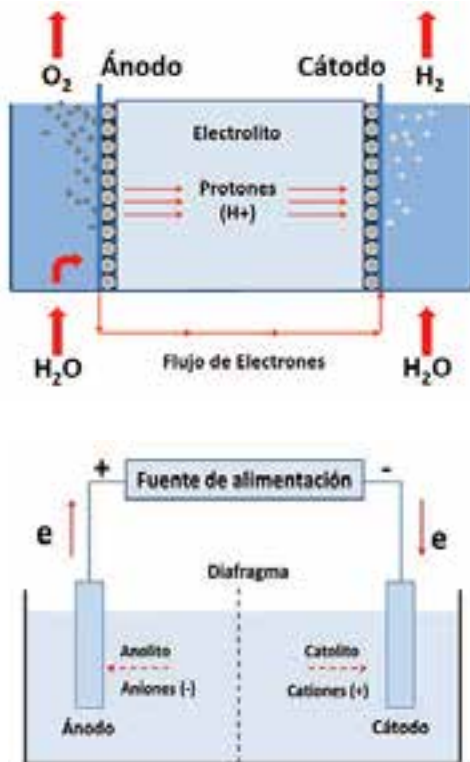


Fig. 1. Electrólisis del agua y la producción de hidrógeno gaseoso.

Entre los inconvenientes hay que señalar que es un gas muy inflamable y que sería muy costosa la construcción de las infraestructuras para su distribución, y requiere sistema de cortafuegos o parallamas dobles para garantizar la seguridad operacional de su uso como gas carburante. En este trabajo están concebidos estos sistemas dobles en las variantes del circuito local de generación del gas carburante.

Resultados de la discusión

Los planos de ensamble de las cocinas híbridas, ecológicas, eficientes y de bajo costo se presentan en las Figs. 2 y 3.

Primera versión:

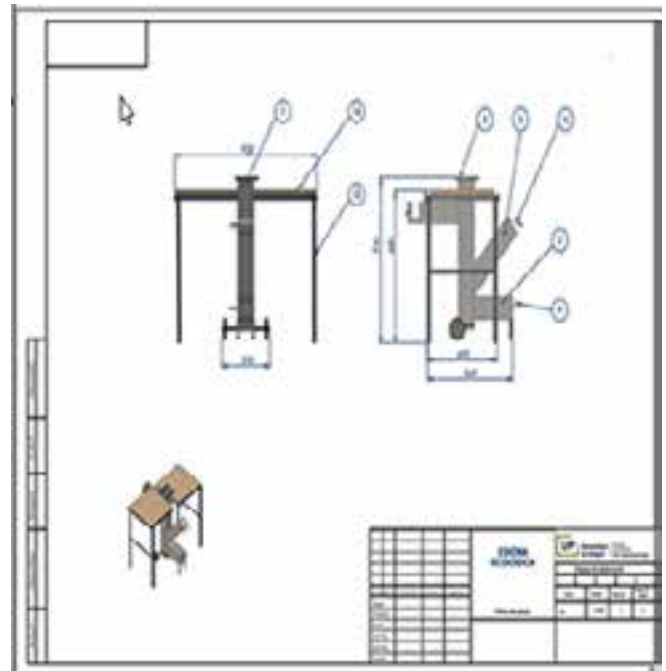


Fig. 2. Plano de ensamble de la cocina en primera versión.

Segunda versión:

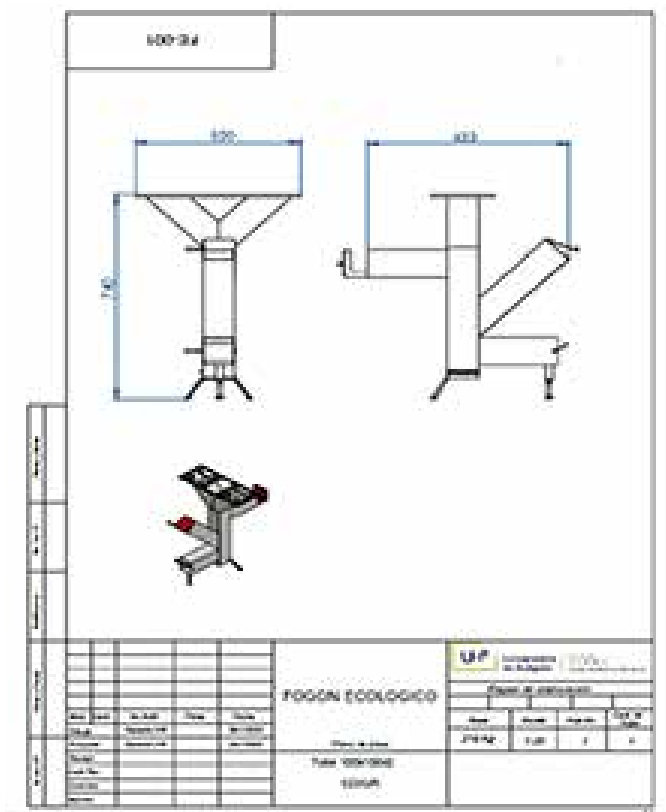


Fig. 3. Plano de ensamble de la cocina en segunda versión.

A continuación, el diseño de celda de hidrógeno y circuito de generación de hidrógeno a partir de la separación electrolítica del hidrógeno del agua en una celda electrolítica de placas de acero níquel, con sus

correspondientes parallamas, como seguridad para evitar una explosión por el posible retroceso de la llama (Fig. 4).

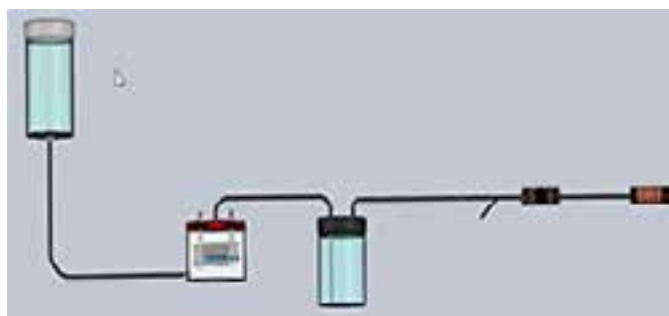


Fig. 4. Esquema del circuito de generación del hidrógeno.

A continuación detalles de las partes del circuito de generación de hidrógeno (Fig. 5-7):

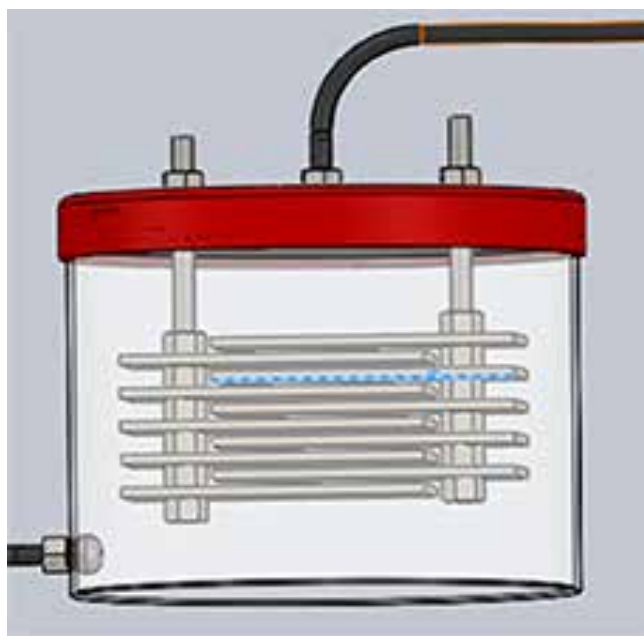


Fig. 5. Esquema de la celda electrolítica de generación de hidrógeno de acero 316.



Fig. 6. Parallama mecánico con agua.



Fig. 7. Parallama o cortafuegos laberíntico.

A continuación, se muestra la variante del circuito de generación e inyección de hidrógeno carburante con compresión del gas en sistema de refrigeradores domésticos (Fig. 8).

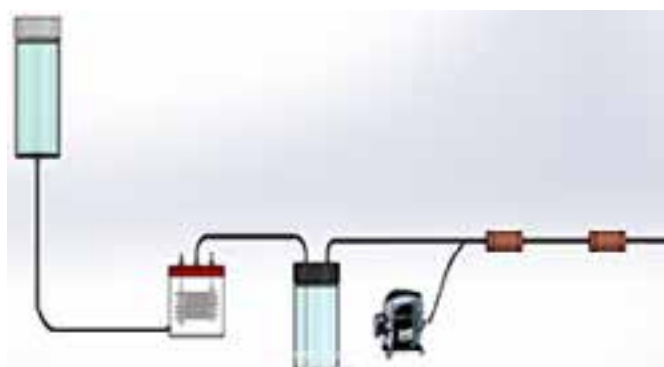


Fig. 8. Esquema del circuito de generación del hidrógeno con compresión del gas.

IV. Conclusiones

1. Este trabajo ofrece solución a diferentes problemáticas socioeconómicas que se presentan en el país, por ejemplo, la falta de combustibles para la cocción de alimentos para la población.
2. De fácil utilización en las comunidades aisladas recientemente electrificadas y donde la cocción de los alimentos hoy es un tema pendiente.
3. La energía para la celda de hidrógeno pudiera generarse con paneles fotovoltaicos de las viviendas de las comunidades aisladas, así como pequeños generadores para el proceso de hidrólisis, solamente con 12 volt de corriente continua.
4. Igualmente, como solución a los vertederos de residuales de carpinterías, como briquetas de serrín o biomasa sólida, que existen en los alrededores de las ciudades.
5. Y no menos importante como solución, igualmente, en las viviendas cercanas a las costas, para la eliminación de los vertimientos de sargazos en las playas, que es un serio problema para el turismo, a gestionar por la Tarea Vida en todo el territorio nacional.

V. Bibliografía

- APROVECHO RESEARCH CENTER (2005). *Design principles for wood burning cookstoves*. Aprovecho Research Center – Shell Foundation. Eugene. 40 p.
- ARRIAZA CASTRO, LUIS ALEJANDRO (1998). «Estimación del impacto ecológico y económico por el uso de estufas mejoradas en la

- comunidad de El Jicarito», Departamento de Francisco Morazán, Honduras.
- BARNES, D., K. OPENSHAW, K. SMITH, & R. VANDER PLAS (1994). *What makes people cook with improved biomass stoves?* The World Bank. Washington D.C. 45 p.
- BROWN, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer*. FAO. Roma. 55 p.
- BRYDEN, DR. MARK; DEAN STILL, PETER SCOTT, GEOFF HOFFA, DAMON OGLE, ROB BAILIS Y KEN GOYER (2006). «Principios de diseño para estufas de cocción con leña».
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (2008). *Bosques y energía: cuestiones clave*. FAO, Roma. Italia. 69 p.
- GONZÁLEZ EXPÓSITO, JAVIER ORKI (2006). «Estudio comparativo de cocinas mejoradas en Nicaragua».
- HAMILTON, L. (2008). «Growing plantation firewood». Agriculture Notes. AG1106. Disponible en: [http:// new.dpi.vic.gov.au/notes/foestry/farm-forestry/ag1106-growing-plantation-firewood](http://new.dpi.vic.gov.au/notes/foestry/farm-forestry/ag1106-growing-plantation-firewood).
- HAYNES Y COL. (2019). «Diseño y fabricación de estufas híbridas, ecológicas, eficientes y de bajo costo». En *Eco Solar* 70. La Habana: Ed. Cubasolar. Publicado en www.cubasolar.cu
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2003). *Orientación del IPCC sobre buenas prácticas para UTCUTS*. IPCC. Geneve. 628 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007). «Climate change 2007: Synthesis report IPCC». Geneve. 22 p.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2006). *World energy outlook*. IEA. Paris. 596 pp.
- JUÁREZ, F. (2002,?). «Estufas ahorradoras de leña tipo plancha». Proderqui. Ciudad de Guatemala. Disponible en: [http:// www.rimisp.org/fida_old/getdoc.php?docid=1324](http://www.rimisp.org/fida_old/getdoc.php?docid=1324).
- OCAÑA, R. E. (2005). «Especies vegetales dendro energéticas utilizadas por los pobladores del Encino–Santander». Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Bogotá. 50 p.
- OSPINA, C.; F. ARISTIZABAL, J. GODOY, D. GÓMEZ, R. HERNÁNDEZ, J. MEDINA & J. PATIÑO (2005). «Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina Colombiana: El aliso o cerezo». Cenicafe – Federación Nacional de Cafeteros. Manizales. 37 p.

Recibido: 20 de febrero de 2021

Aceptado: 15 de abril de 2021