

Evaluación de rendimiento y de sostenibilidad de una estufa mejorada de carbón vegetal por métodos WBT Y CCT. Aplicación en Bandundu (R.D. CONGO)

Performance evaluation and sustainability analysis of an improved charcoal cookstove by WBT and CCT methods. Application in Bandundu (D.R. CONGO)



Oscar Mulumba-Ilunga¹, Elías Hurtado-Pérez², Elisa Peñalvo-López² y Francisco-Javier Cárcel-Carrasco²

¹ Higher Institute of Applied Techniques ISTA (Congo)

² Universitat Politècnica de València (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9590>

Los combustibles derivados de la madera (carbón vegetal y leña) representan más del 80% del suministro de energía primaria en el África subsahariana, siendo además la principal fuente energética para los hogares pobres [1]. El principal sistema para cocinar alimentos en estas poblaciones es el fuego abierto rodeado de tres piedras sobre las que se sustentan las ollas de cocción. Es un método simple, pero energéticamente ineficiente, ya que determina un consumo de leña elevado y un daño medioambiental [2]. Actualmente, unas tres mil millones de personas en el mundo dependen de combustibles como la biomasa leñosa, el carbón vegetal, los residuos agrícolas y los desechos de animales para cocinar y para calefacción, no teniendo acceso a métodos de cocción limpios [3]. La producción y el uso de estos combustibles a partir de madera han aumentado en consonancia con el crecimiento de la población, aumentando así la tasa de deforestación en el África subsahariana [4]. Aunque sean considerados la agricultura y la industria maderera como los principales impulsores de la deforestación a gran escala, la recolección de leña y la producción de carbón vegetal para uso doméstico tiene impactos significativos en los ecosistemas locales, especialmente en áreas densamente pobladas [5-6]. La economía en el consumo de combustible y la reducción del tiempo de cocción son elementos a considerar por los promotores de las estufas mejoradas [2]. De hecho, los usuarios finales se sienten mucho más atraídos por una estufa de cocción

económica y rápida en la preparación de alimentos.

En este trabajo, se propone la introducción de una estufa mejorada (Improved Cook Stove - ICS) de carbón vegetal ventilada de forma natural para una comunidad local que cocina en el 90% mediante una estufa tradicional (Traditional Cook Stove - TCS) de baja eficiencia energética. Se realizaron dos métodos de prueba: el Water Boiling Test (WBT 4.2.3) y el Controlled Cooking Test (CCT v.2). La estufa TCS, actualmente utilizada localmente por los hogares, se ha utilizado como punto de referencia para analizar las mejoras (análisis de los impactos energéticos, medioambientales, de seguridad y socioeconómicos). El impacto socioeconómico se ha calculado para la ciudad de la República Democrática del Congo de Bandundu, en la que el 90% de los habitantes 3.673.000 habitantes cocinan con este tipo de estufas y el tamaño medio de las familias es de 6 personas.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. MATERIALES

En la figura 1 se muestran las dos estufas, la TCS utilizada habitualmente en Bandundu, y la mejorada ICS. En la primera, la olla se coloca sobre el carbón en

equilibrio inestable. Cuando el carbón se va quemando, la olla desciende, lo que supone un peligro para el usuario durante el proceso de cocción, por posible derramamiento de productos en ebullición. Está construida de chapa de acero de 1 mm de espesor, el diámetro es de unos 230 mm y su profundidad de 70 mm. La superficie lateral de la cámara de combustión y su base están perforadas con orificios de 10 mm de diámetro. El aire de combustión entra en la cámara de combustión por todas las direcciones, dispersando el flujo de calor producido en todas las orientaciones y direcciones. Esto es el origen de su reducida eficiencia térmica por las pérdidas de calor en los laterales.

El ahorro de combustible en estufa mejorada ICS se basa en aislar el fuego para crear una zona muy caliente alrededor del recipiente y controlar la circulación del aire. Se ha estudiado que la mejor solución es poner un aislamiento compuesto por tres paredes termodinámicas. La primera consiste en una chapa de acero de 3 mm con agujeros de 12 mm en todo el perímetro. La segunda pared termodinámica es una capa de aislamiento térmico de placas de cerámica (80% arcilla +20% aserrín cocido a 1000°C) de 10 mm de espesor. La tercera pared es una capa de aislamiento térmico de lana de roca de 40 mm de espesor (Conductividad térmica λ



Figura 1: Estufa tradicional TCS (izquierda) y la mejorada ICS (derecha)

de 0,04 W/m.K). El resultado final es que la cámara de combustión tiene una superficie base cuadrada de 170mmx170mm, y una altura de 80mm. La base inferior de la cámara de combustión está equipada con una rejilla de chapa de acero de 3 mm con agujeros de 12 mm de diámetro.

El combustible utilizado fue carbón vegetal de granulometría de 30x30 mm que se obtuvo a partir de madera de acacia con un contenido de humedad del 7%; densidad 0,365g.cm⁻³; materia volátil 98% en base seca; cenizas 2% en base seca, y poder calorífico inferior 27 MJ.Kg⁻¹.

1.2. MÉTODOS

Se han utilizado dos métodos de prueba para comprobar el rendimiento de las estufas de cocción. Estos métodos de laboratorio son: la prueba de ebullición del agua (Water Boiling Test WBT 4.2.3) [7] y la Prueba de Cocina Controlada (Cooking Controlled Test CCT v.2) [8]. El WBT es una simulación de laboratorio del proceso de cocción en tres etapas utilizando sólo agua, consiste en la siguiente secuencia: 1ª fase, Arranque en frío de alta potencia, en esta fase se parte de la estufa en frío y se calienta agua desde la temperatura ambiente hasta la ebullición: 2º fase: Arranque en caliente de alta potencia, con la estufa caliente, se calienta agua hasta la ebullición. 3º fase, de baja potencia, se mantiene el agua durante 45 minutos a la temperatura próxima a la ebullición. En

las tres fases se mide la cantidad de combustible.

El CCT es una prueba de laboratorio en la que se prepara 6 veces una comida habitualmente consumida por la población del área de estudio en 6 días diferentes. Se eligen los mismos ingredientes y cantidades para todas las pruebas, que son realizadas por tres cocineros diferentes. En el estudio presentado se cocinó un pescado con diversos ingredientes como harina de maíz y de mandioca, legumbres, aceite, tomates, cebollas, ajo y pasta de cacahuate. Con un peso total de 5.450 kg y 7.0 litros de agua.

Se utilizaron diferentes equipos de medición, balanzas, calorímetros y un equipo portátil de monitorización de las emisiones de combustión, con lo que se obtuvieron diversas medidas. Mediante el método WBT, se obtiene el rendimiento de las estufas, el consumo de combustible y las emisiones de monóxido de carbono (CO) y de partículas finas (PM). Con el método CCT, la cantidad de combustible, el tiempo de cocción y la cantidad de comida cocinada. Teniendo en cuenta la población de la ciudad de estudio y el número de miembros de una familia, se calcula el ahorro de combustible, la demanda de carbón vegetal, y la estimación en la reducción de emisiones de CO₂ según la metodología AMS-II [9] de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCC).

2 RESULTADOS Y DISCUSIONES

2.1. COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EMISIONES CONTAMINANTES DE AMBAS ESTUFAS

En la tabla 1 se indican los resultados de rendimiento energético de dos estufas por el método WBT, se puede constatar el aumento en la eficiencia energética pasando del 22.5% y al 34.1% respectivamente para TCS e ICS. En la última columna se reflejan las variaciones de estas magnitudes comparando las dos estufas.

2.2. RENDIMIENTO DE LAS ESTUFAS EN LA COCINA REAL (MÉTODO CCT V.2)

En la tabla 2 se indican las cantidades de combustible utilizado en toda la cocción y por unidad de comida obtenida, así como el tiempo utilizado por ambas estufas. Se indica también la desviación estándar, ya que se realizaron 6 pruebas para cada tipo de estufa.

2.3. ESTUDIO DEL AHORRO DE COMBUSTIBLE E IMPACTO AMBIENTAL

Del análisis realizado, se obtuvo un ahorro de combustible de 0.625 kg/familia-día por el método WBT o de 0.895 por el método CCT. A partir de estos valores se obtiene el ahorro de carbón vegetal y de leña por ambos métodos WBT y CCT (teniendo en cuenta que 5 kg de leña corresponden a 1 kg de carbón vegetal) [9]. Asimismo se cal-

Valores de las medidas:	Unidades	TCS		ICS		Comparación % TCS / ICS
		Valor medio	Desviación estándar	Valor medio	Desviación estándar	
Eficiencia térmica a alta potencia	%	22,5	0,618	34,1	2,176	51,7
Consumo específico en baja potencia	kJ/(min·L)	34,1	0,003	24,7	0,003	-27,4
Emisiones CO alta potencia	g/MJ	11,7	0,076	8,4	0,466	-27,5
Emisiones CO baja potencia	g/(min·L)	0,28	0,012	0,21	0,009	-24,8
Emisiones PM alta potencia	mg/MJ	88,0	3,449	63,1	2,265	-28,3
Emisiones PM baja potencia	mg/(min·L)	1,38	0,163	1,12	0,104	-18,8

Tabla 1: Resultados de rendimiento energético de las estufas por el método BWT

Valores	Unidades	TCS		ICS	
		Valor medio	Desviación estándar	Valor medio	Desviación estándar
Combustible	g	2197,3	82,9	1301,5	10,56
Tiempo de cocción	min	222,83	4,88	208,33	3,61
Peso comida cocinada	kg	6,57	0,08	6,55	0,10
Consumo específico (SC)	g fuel/kg alimentos	334,74	15,2	198,85	4,11

Tabla 2: Consumos de combustible en las dos estufas

Método	Ahorro hogar año (kg carbón vegetal)	Ahorro hogar año (kg leña)	Ahorro Bandundu año (ton leña)	Reducción CO ₂ /año-familia (kg)	Reducción CO ₂ /año Bandundu (ton)
CCT	327	1635	892 10 ³	1400	764 10 ³
WBT	228	1140	622 10 ³	980	535 10 ³

Tabla 3: Ahorro de combustible y reducción de emisiones de CO₂ en la ciudad de referencia de Bandundu

cula la reducción de emisiones de CO₂ en la ciudad tomada como referencia de Bandundu. En la tabla 3 se recogen todos estos resultados.

2.4. IMPACTO SOCIOECONÓMICO

Sabiendo que el precio del carbón vegetal en Bandundu es de 0.6 \$/kg. La reducción del coste por la compra de carbón vegetal es de 196 \$ US/año y familia. Para una población que vive en la pobreza extrema con 1.73 \$US diario [10], este ahorro puede tener muy buenas consecuencias. Teniendo en cuenta que el precio estimado de la estufa mejorada es de 25 \$, supone un tiempo de retorno de apenas 47 días, por lo que en el primer año el ahorro supone de 171\$. Por otro lado, una ICS ofrece buena flexibilidad y facilidad de uso, ya que la potencia del fuego puede ajustarse fácilmente a través de la puerta de entrada de aire. Al estar aislado térmicamente, el fuego está bien confinado y la temperatura de la superficie es más baja, lo que puede reducir el número de accidentes por quemaduras, en comparación con una TCS.

3. CONCLUSIONES

Se ha realizado el estudio de consumo energético y de emisiones que resultaría de la sustitución de una estufa de cocinar tradicional por una mejorada, aplicándolo al caso de una población de la República Democrática del Congo, donde la cocción de alimentos se realiza con estas estufas. La comparación se ha realizado mediante el protocolo WBT y el CCT, obteniendo unos resultados de mejora muy interesantes. En cuanto a la reducción de combustible por el método CCT, se consigue una disminución de 0.895 kg de carbón vegetal por día, que representa 4.475 kg de leña diariamente y más de tonelada y media al año. Esta reducción, en un país en el que más del 80% de la cocción de alimentos se realiza de esta forma, es muy importante, tanto por la deforestación como por la dificultad de obtener y transportar la leña. Por otro lado, se reduce notablemente la emisión de CO₂, de CO y de partículas. Las primeras tienen que relación con el calentamiento global, siendo la reducción anual por familia de 1,4 t de CO₂. El resto de emisiones se relacionan con la salud de las personas que realizan la cocción de alimentos, especialmente las mujeres de los países similares al del estudio. En

definitiva, la sustitución de las estufas de cocción de alimentos representaría un gran avance en poblaciones de los países en desarrollo.

REFERENCIAS

- [1] Mwampamba, T.H.; Ghilardi, A.; Sander, K.; Chaix, K.J.2013. Dispelling common misconceptions to improve attitudes and policy outlook on charcoal in developing countries. *Energy Sustain. Dev.*, 17, 75–85.
- [2] UNHCR,1998b. Engineering and Environmental Services Section, Refugee Operations and Environmental Management: Selected Lessons Learned (Geneva: UNHCR, 1998).
- [3] Maes, W.H.;Verbist, B. Increasing the sustainability of household cooking in developing countries: policy implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16, 4204–4221.
- [4] Mwampamba, T.H.2007. Has the woodfuel crisis returned? Urban charcoal consumption in Tanzania and its implications to present and future forest availability. *Energy Policy*, 35, 4221–4234.
- [5] Tucho, G.T.; Nonhebel, S.2015.Bio-Wastes as an Alternative Household Cooking Energy Source in Ethiopia. *Energies* 8, 9565–9583.
- [6] Barbieri, J., Parigi F., Fabio Riva F., Colombo E.2018. Laboratory Testing of the Innovative Low-Cost Mewar Angithi Insert for Improving Energy Efficiency of Cooking Tasks on Three-Stone Fires in Critical Contexts *Energies*, 11, 3463; doi: <http://dx.doi.org/10.3390/en11123463>
- [7] Global Alliance for Clean Cookstoves (GACC,2014). Water Boiling Test, version 4.2.3; Global Alliance for Clean Cookstoves: Washington, DC, USA.
- [8] Bailis R.,2004. The Controlled Cooking Test (CCT) Version 2.0. (2004). <https://cleancookstoves.org/binary-data/DOCUMENT/file/000/000/80-1.pdf> [accessed online 21/02/2019]
- [9] UNFCCC 2019. AMS-II.G. Small-Scale Methodology: Energy Efficiency Measures in Thermal Applications of Non-Renewable Biomass Version 10.0 Sectoral Scope(s):03. https://cdm.unfccc.int/filestorage/1/F/S/1FSPVQM7JWELKHB5U94DXR23T0C6AZ/EB100_repan12_AMS-II.G.pdf?t=QnJ8cHBmcHhxfDD4WnsRhxhp0I9t-xRRtpRM (Accessed 9/10/ 2019)
- [10] IMF. Country Report No. 15/280 DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO 527 <https://www.imf.org/external/pubs/ft/scr/2015/cr15280.pdf> (accessed 15/02/2019).

MATERIAL SUPLEMENTARIO

https://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/9590-1.pdf



CALL FOR PAPER

ESPECIAL NOVIEMBRE 2020

ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y CAMBIO CLIMÁTICO: PASADO, PRESENTE Y FUTURO

Realizado en colaboración con la Universidad del País Vasco UPV/EHU y la Universidad de Navarra TECNUN.

Se entenderían incluidos en este número temáticas tales como:

- Nuevos desarrollos en energía eólica on-shore
- Nuevos desarrollos en energía eólica off-shore
- Avances en energías renovables marinas: undimotriz y energía de las corrientes
- Nuevas estrategias para la evaluación del impacto ambiental de las instalaciones energéticas renovables
- Nuevos materiales en el desarrollo de las energías renovables
- Almacenamiento de energía (baterías, supercondensadores, inercial, bombeo, etc.).
- El hidrógeno como vector de almacenaje y de utilización energética
- Integración de las energías renovables en el mix de generación eléctrica
- Valoración de inversiones en energías renovables
- Redes inteligentes (smart-grids)

*Deadline envío trabajos:
31 de Julio de 2020*

Consultar pliego completo en:



<https://www.revistadyna.com/noticias-de-ingenieria/call-for-papers-energia-y-cambio-climatico-pasado-presente-y-futuro>