



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN
EN ENERGÍAS RENOVABLES

TESIS

“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA EVALUACIÓN DE ESTUFAS ECOLÓGICAS”

PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN MATERIALES Y
SISTEMAS ENERGÉTICOS
RENOVABLES

PRESENTA

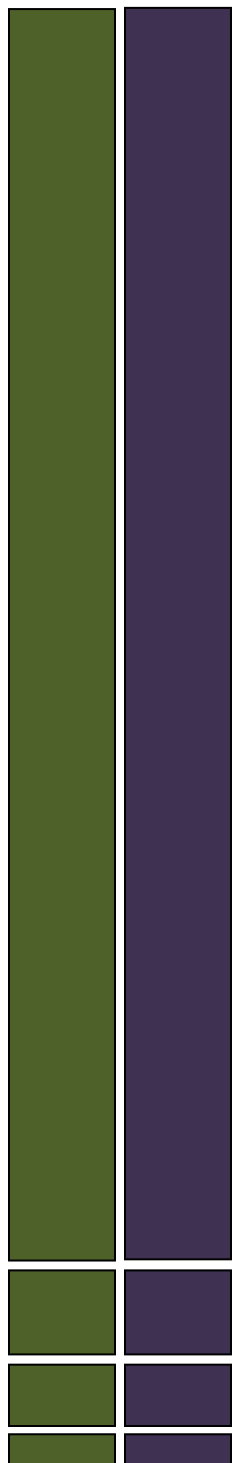
RUBÉN MARTÍNEZ HEREDIA

DIRECTORES

DR. NEÍN FARRERA VÁZQUEZ
DR. LUIS FERNANDO LUQUE VEGA

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.

Mayo 2019





UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
05 de junio de 2019
Oficio No. DIP/0437/2019

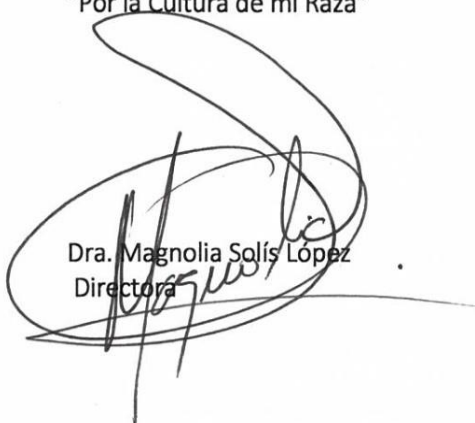
C. Rubén Martínez Heredia
Candidato al Grado de Maestro en Materiales
y Sistemas Energéticos Renovables UNICACH
Presente

En virtud de que se me ha hecho llegar por escrito la **opinión favorable** de la Comisión Revisora que analizó su trabajo terminal denominado **“Desarrollo de un sistema de monitoreo para la evaluación de estufas ecológicas”**, y que dicho trabajo cumple con los criterios metodológicos y de contenido, esta Dirección a mi cargo le **autoriza la impresión del documento** mencionado, para la defensa oral del mismo, en el examen que Usted sustentará para obtener el **Grado de Maestro en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables**.

Se le pide observar las características normativas que debe tener el documento impreso y entregar en esta Dirección un tanto empastado del mismo.

Atentamente

“Por la Cultura de mi Raza”


Dra. Magnolia Solís López
Directora



DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO



C.c.p. Expediente
*MSL/rags

Ciudad Universitaria. Lib. Norte Poniente núm. 1150
Colonia Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
C.P. 29039 Tel: (01 961) 61 70 440 Ext. 4360
investigacionyposgrado@unicach.mx

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO 1. PANORAMA DE LOS PRINCIPALES CENTROS DE EVALUACIÓN CON SISTEMAS DE MONITOREO	12
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS DE LAS EVALUACIONES A LAS ESTUFAS ECOLÓGICAS	46
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL SISTEMA DE MONITOREO PARA LA EVALUACIÓN DE ESTUFAS ECOLÓGICAS	106
CAPÍTULO 4. RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL SISTEMA DE MONITOREO PARA LA EVALUACIÓN DE ESTUFAS ECOLÓGICAS	127

Dedicatoria

A mi amado Dios y mi amada familia, que sin su invaluable e incondicional amor y apoyo no hubiera sido posible este éxito.

Agradecimientos

En primer lugar agradezco a Dios por haberme permitido concretar con éxito una nueva etapa de mi vida a través este crecimiento intelectual y personal. A mi esposa Alina y mi hijo Sergio Rafael, quienes con su apoyo y amor me motivaron siempre a lograr cada etapa de este proceso. A mis padres Sissy y Salvador, mis Abuelitos Lili y Sergio, y mi hermano Guillermo, quienes con sus palabras siempre me infundieron aliento.

Agradezco a mi amigo y asesor el Dr. Neín Farrera Vázquez, quien confió en mí para ingresar al posgrado y a lo largo del mismo.

Agradezco al Dr. Luis Fernando Luque Vega por su orientación y contribución a la realización de este proyecto. Aprecio mucho el alto interés con el que constructivamente ha criticado este trabajo y de quien he tenido aprendizaje de beneficio para mi profesionalización.

Agradezco al Ingeniero R. Gerson Tomás Martínez por haberme brindado su valioso apoyo en la construcción de importantes accesorios para este proyecto.

Agradezco a mi amigo Weimar Alberto Grajales Morales cuyo apoyo incondicional ha sido de gran importancia para la realización de este trabajo.

Agradezco a mi suegra la Maestra Elizabeth Villalobos García por el cariño e interés con que me brindó sus valiosos consejos para la redacción de esta tesis.

Agradezco el tiempo y dedicación de manera muy especial al Ingeniero Daniel Jamayote Mendoza por su apoyo en los aspectos técnicos de electrónica y programación, siempre con un alto grado de compromiso. También agradezco el enorme apoyo y espacio de Efraín Ruíz Robles durante mis estancias en el taller.

Agradezco el tiempo y dedicación por toda la asesoría a los Maestros Aldo Esteban Aguilar Castillejos y Osbaldo Ysaac García Ramos cuya guía ha sido de gran valor para la realización de este trabajo.

Agradezco a mi amigo James Joseph Jetter, Ingeniero Líder de Evaluaciones de Laboratorio, de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés Environmental Protection Agency) de Estados Unidos en Carolina del Norte, por su compartición enorme de conocimiento y orientación, y así mismo la voluntad de viajar a Chiapas y estrechar lazos con el Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables (IIER) en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). *Thanks buddy.*

Agradezco a quienes fueron parte del proceso formativo, a los docentes de los cursos, seminarios, sesiones integradoras, administrativos y directivos de la UNICACH.

Agradezco a Rosy y Adriana quienes fueron parte del proceso administrativo a lo largo de mi formación en la Maestría.

Agradezco el tiempo y el espacio de las instituciones que colaboraron con mi formación como lo son la Universidad del Valle de México (UVM), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Campus Morelia, y a la EPA.

Quiero mencionar mi agradecimiento a mis compañeros y amigos de la Maestría, Carlos Macías, Gabriela Estrada, Carlos López, Weimar Grajales, Alison Ruíz, Erick Hernández, Gustavo Espinosa, Carlos Toledo, Luis Guillen, Rubí Sotelo, y Fidel Eurípides, por su apoyo y el tiempo que compartimos en los trabajos y proyectos que realizamos.

Agradezco al programa en conjunto del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología con la Secretaría de Energía (CONACYT-SENER) por el apoyo para la realización de este proyecto.

Resumen

El monitoreo y la evaluación de las estufas ecológicas son procesos fundamentales para observar el progreso y medir los resultados del sistema, los resultados intermedios y los impactos a largo plazo de las tecnologías de cocción limpia. La evaluación se define a través de protocolos internacionales desarrollados por La Alianza Global para Estufas Ecológicas. Actualmente, los esfuerzos se han abordado principalmente a lo largo del proceso más que a través de las herramientas involucradas para obtener datos y análisis. La mayoría de los evaluadores realizan sus evaluaciones, de forma manual, y participan en el proceso de conducción y aportes a la evaluación, así como en la recopilación de los resultados, al mismo tiempo, lo que conduce a resultados más propensos al error humano. Este trabajo propone el desarrollo de un Sistema Automatizado para la Evaluación de Estufas Ecológicas capaz de recopilar datos, procesar datos, e interpretar datos para generar información valiosa que permitan un mejor análisis de los evaluadores. Dicho sistema busca proporcionar datos muy precisos y confiables para evaluar y validar las estufas, logrando entregar seguridad a los usuarios de recibir productos de calidad y reducir impactos negativos en la salud aplicándose a diferentes tipos de estufas ecológicas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Abstract

Careful monitoring and evaluation of Clean Cookstoves is critical for observing progress, and measuring outputs, intermediate outcomes, and long-term impacts of clean cooking technologies. Evaluation is defined through international protocols developed by The Global Alliance for Clean Cookstoves collaboratively with institutes and countries. Currently efforts have been addressed mainly over the process more than over the involved tools in order to obtain data and analysis. Most of evaluators conduct their protocol based evaluations manually which leads to results more prone to human error, since evaluators need to participate in the process of conducting and providing inputs to the evaluation as well as gathering the results themselves at the same time. This is a supported and mentioned fact by the Global Alliance for Clean Cookstoves, and a reality in the Institute of Research and Innovation in Renewable Energy, among other institutions. This work proposes the development of an alternative Automated System for Clean Cookstoves Evaluation able to collect data, process it, and create information for better analysis from evaluators. Said system seeks to provide more accurate and trusted data by reducing human error through an automated data collection able to be applied to different kind of Clean Cookstoves in Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Introducción

En términos ambientales, la combustión de combustibles sólidos en estufas ineficientes libera contaminantes tóxicos al aire llevando a niveles de contaminación del aire doméstica que a menudo exceden por mucho los lineamientos basados en la salud de la Organización Mundial de la Salud. Desafortunadamente, el potencial del daño no se detiene cuando el humo deja el hogar. En su lugar, en vías áreas, las emisiones de partículas finas del cocinado doméstico con combustibles sólidos son una fuente principal de contaminación del aire ambiental (al aire libre). La contaminación del aire doméstico cuenta con el 12% de la contaminación del aire ambiental globalmente y hasta un 30% de la contaminación del aire ambiental en áreas como el sur de Asia y China. La contaminación ambiental ocurre como un resultado del cocinado doméstico con combustibles sólidos y tiene mayores implicaciones para ambos salud humana y medio ambiente.

Adicional a la contaminación del aire, la combustión de combustibles sólidos libera emisiones de algunos de los contribuyentes más importantes al cambio climático: dióxido de carbono, metano, carbón negro, y otros contaminantes climáticos de corta duración. La cosecha de manera insostenible también contribuye a la pérdida de biodiversidad y degradación del bosque, reduciendo el consumo de carbón por los bosques.

El carbón negro, el cual resulta de la combustión incompleta, es estimado en contribuir el equivalente de 25 al 50% del dióxido de carbono del calentamiento global, y la combustión de combustible sólido residencial cuenta hasta por el 25% de las emisiones globales de carbón negro, alrededor del 84% de los cuales proviene de los hogares en países en desarrollo.

Desde el aspecto de la salud, la exposición diaria al humo tóxico de las prácticas tradicionales de cocinado es uno de los más grandes del mundo – pero menos bien conocidos asesinos. Entrando de manera profunda en los pulmones de sus

víctimas, este humo causa un rango de efectos en la salud mortalmente crónicos y agudos tales como neumonía infantil, cáncer pulmonar, enfermedad pulmonar crónica obstructiva, y enfermedades del corazón, así como bajo peso al nacer en niños nacidos de madres cuyos embarazos son cursados respirando humos tóxicos de cocinas tradicionales.

La evidencia es robusta y convincente: exposición a contaminación del aire doméstico es responsable de un número asombroso de enfermedades evitables y muertes cada año. En efecto, la Organización Mundial de la Salud estima que la exposición al humo de ese simple acto de cocinado constituye el cuarto factor de riesgo líder en países en desarrollo y causa por encima de 4 millones de muertes al año – excediendo muertes atribuibles a la malaria o tuberculosis. Además, decenas de millones más caen enfermos de padecimientos que pudieron fácilmente ser prevenidos con una adopción mejorada de estufas y combustibles eficientes y limpios.

Las enfermedades causadas por la exposición al humo de los métodos de cocción tóxicos conducen a graves problemas para la salud y los medios de subsistencia de las familias, lo que dificulta su capacidad para escapar de la pobreza extrema. Las mujeres de los países en desarrollo corren el riesgo de sufrir lesiones en la cabeza y la columna vertebral y complicaciones en el embarazo debido a la ardua tarea de cargar grandes cantidades de leña u otros combustibles, y también pueden sufrir violencia de género, ataques de animales, deshidratación y trastornos de la piel. La exposición frecuente al humo de las estufas también puede causar impactos incapacitantes en la salud, como las cataratas, y es la principal causa de ceguera en los países en desarrollo. Los efectos sobre la salud son especialmente mortales para los niños menores de cinco años en los países en desarrollo: casi la mitad de todas las muertes por neumonía en este grupo de edad ocurren como resultado de la exposición al humo [1].

El uso de las estufas ecológicas como parte de los medios de subsistencia ha generado una dependencia de la biomasa para la cocina y la calefacción que obliga

a las mujeres y los niños a pasar horas cada semana recogiendo leña, tiempo que podría emplearse mejor en la generación de ingresos, educación u otras actividades. Donde se debe comprar combustible, principalmente en áreas urbanas, las familias que luchan por satisfacer sus necesidades básicas pueden pagar hasta un tercio de sus ingresos para comprar combustible suficiente para cocinar su comida diaria [2].

Las emisiones de combustión de combustibles sólidos de la cocina y calefacción doméstica son un factor de riesgo líder para las enfermedades en el mundo en desarrollo, representan aproximadamente el 4% de todos los años de vida sana perdidos y aproximadamente 2 millones de muertes prematuras en países de bajos y medianos ingresos. La demanda de recursos de leña para la energía doméstica afecta la ecología terrestre y los patrones de uso de la tierra en varias regiones del mundo en desarrollo, y la recolección de combustible generalmente requiere muchas horas por semana para las poblaciones pobres. Los efectos climáticos potenciales son motivo de preocupación debido a las emisiones de gases de efecto invernadero y de aerosoles carbonosos de la combustión doméstica de combustible de biomasa. La evidencia sugiere que el despliegue generalizado de estufas con mejoras en la eficiencia de la combustión y la energía sobre la tecnología tradicional podría ayudar a mitigar las consecuencias negativas para la salud humana, la energía y el clima. Los estudios de cocinas con chimeneas muestran cierto éxito en la reducción de las exposiciones y los impactos en la salud, pero también indican que la reducción adicional de las emisiones podría potencialmente lograr incluso mayores beneficios. Sin embargo, la adopción a gran escala de estufas construidas con tecnologías de combustión mejoradas y bajas emisiones se enfrenta a desafíos sustanciales, incluida la falta de estándares ampliamente aceptados de emisiones de estufas y estándares de eficiencia energética y protocolos de prueba. Dichos estándares son necesarios para:

- (i) Informar a los gobiernos, donantes e inversores interesados en promover y respaldar únicamente estufas de alta calidad.

- (ii) Mejorar las comparaciones entre combustibles y estufas que funcionan según la prueba pertinente de tareas, eficiencia energética y combustión variables.
- (iii) Desarrollo de procedimientos de certificación, puntos de referencia de rendimiento e infraestructura de prueba significativa para el mercado global de estufas.

Los estándares pueden proveer incentivos a los desarrolladores de estufas para innovar y mejorar el desempeño [3].

Hoy en día, el desarrollo del Sistema de Monitoreo de Evaluación de Estufas Ecológicas (SIMEEE) sería el primero desarrollado en su tipo en el Estado de Chiapas, con una cobertura de evaluación basado en los Protocolos Internacionales que indica “The Global Alliance for Clean Cookstoves”.

Dado que, en Chiapas, específicamente en IIER, ya se ha desarrollado un Laboratorio de Estufas, el desarrollo del SIMEEE facilitará, hará más eficiente y confiable la obtención de datos para su procesamiento y análisis, reflejando este beneficio en:

- La clasificación de Estufas Ecológicas, por ejemplo, en términos de eficiencia energética, y emisiones generadas en el ambiente.
- La identificación de mejoras.
- La reducción del índice del error humano.
- Generación de datos confiables para la mejora de las estufas.

Esto también se traduce en beneficios directamente para las comunidades, así como de manera inmediata también para el sur del país donde predomina la utilización de Estufas Ecológicas a base de leña.

Los Centros de Evaluación y Conocimiento Regional (Regional Testing and Knowledge Centers, por sus siglas en inglés RTKCs) son una parte integral en el sector del cocinado ecológico. Estos centros proveen a las partes interesadas –

responsables políticos, donadores, y consumidores – información consistente y fácil de entender acerca de opciones de tecnología y combustible utilizados en las estufas ecológicas.

Así mismo, métodos y métricas realistas para la evaluación de estufas de biomasa para el hogar son requeridos para desarrollar estándares necesarios por los creadores de políticas internacionales, donadores, e inversionistas. La aplicación de prácticas de evaluación consistentes permite que el desempeño de eficiencia energética y emisiones sean puntos de referencia y hace posibles comparaciones significativas entre los tipos de estufas avanzados y tradicionales.

Para asegurarse de que puedan seguir satisfaciendo su rol crítico, los Centros de Evaluación y Conocimiento Regionales deben conducir su servicio principal mientras también evalúan su portafolio de servicios, sus costos, y cómo expandir su base de usuarios para asegurar que son sostenibles [3].

Avanzar, está claro para los RTKCs así como para otros actores en el sector del cocinado ecológico que tendrán que evolucionar para asegurar que los servicios de evaluación de alta calidad estén disponibles de manera efectiva. Además, la evaluación básica por sí misma no es suficiente para mantener completamente los RTKCs, en vez de eso necesitan considerar áreas adicionales que tomen ventaja de sus capacidades existentes tales como la consultoría de estrategia energética, consultoría de Investigación y desarrollo de estufas para diferentes organismos fabricantes como consumidores, así como diferentes áreas de evaluación tales como evaluación de campo y combustibles [4].

Las pruebas de laboratorio son un acercamiento al proceso de cocción. Conducidas en condiciones controladas por técnicos entrenados, las evaluaciones en laboratorio son diseñadas para detectar pequeños cambios y alcanzar resultados más repetibles. Las pruebas de laboratorio son apropiadas para comparar varios

aspectos técnicos del diseño de estufas y evaluaciones previas a su uso en campo de desempeño [5].

En 2004, INEGI reportó que alrededor de la cuarta parte de la población mexicana, entre 25 y 28 millones de habitantes cocina con leña. De éstos, 19 millones de habitantes usan este energético como combustible único para cocinar. En Chiapas, el consumo se da en la mayoría de las comunidades de los 122 municipios.

Derivado de esta crítica situación, en el Instituto de Investigación e Innovación de Energías Renovables (IIIER) han desarrollado estufas ecológicas dirigidas a disminuir la necesidad de éstas en el Estado, las cuales demandan procesos de evaluación efectivos por lo que cuentan con un laboratorio para la evaluación de estufas ecológicas y es indispensable equiparlo con herramientas y sistemas que generen información de alto grado de confiabilidad para el desarrollo de dichas estufas ecológicas.

Este trabajo demuestra la importancia y expone el Desarrollo de un Sistema de Monitoreo para la Evaluación de Estufas Ecológicas en función de protocolos de evaluación en laboratorio. De manera muy particular para el IIIER, se llevará a efecto el mejor esfuerzo por la creación de un primer sistema de esta naturaleza en el Estado con base a la infraestructura e instrumentación existente hoy en día en sus instalaciones. Este Desarrollo es un primer paso en la evolución del proceso de evaluación a las estufas ecológicas con el apoyo de las Tecnologías de Información y Comunicaciones. Ya que actualmente existen protocolos de evaluación de estufas de leña que sirven para conocer las características principales de esta tecnología. La problemática identificada en el IIIER es que los procedimientos se realizan de forma manual por lo que las mediciones tienen imprecisiones y el tiempo que los evaluadores deben estar en este proceso es por largos periodos para lograr la generación de gráficas y análisis necesarios para categorizar los diversos modelos de estas estufas.

En este estudio conoceremos en el Capítulo 1 conoceremos los antecedentes históricos y principales sistemas de evaluación ya existentes empleados en la mayoría de los centros de evaluación registrados en la Global Alliance for Clean Cookstoves, organización sin fines de lucro que opera bajo el apoyo de las Naciones Unidas. Su trabajo se centra en mejorar la salud y el medio ambiente a través del desarrollo de un mercado de cocina limpia.

En el Capítulo 2 revisaremos el marco de trabajo que fundamentan a una evaluación de estufas ecológicas, cuales son los sistemas más populares, los principales protocolos de evaluación realizados en laboratorio dirigidos tanto al desempeño como a las emisiones generadas en las estufas ecológicas.

El Capítulo 3 expone la metodología para el desarrollo del Sistema de Monitoreo para la Evaluación para Estufas Ecológicas.

Finalmente, en el Capítulo 4 se da a conocer los resultados obtenidos a partir del desarrollo de dicho sistema de monitoreo.

Partiendo de lo anterior, este trabajo persigue como **Objetivo General**: *Diseñar, construir y validar un Sistema de Monitoreo para la Evaluación de Estufas Ecológicas (SIMEEE).*

Tal objetivo ha sido desglosado en **Objetivos Específicos** con acciones definidas que serán los pasos que debemos seguir para alcanzar la meta establecida:

1. *Diseñar un Sistema de Monitoreo para la Evaluación de Estufas que contemple los protocolos internacionales. Acciones:*
 - Definir la infraestructura electrónica y de cómputo para la automatización.
 - Diseñar la estructura del SIMEEE considerando movilidad.
 - Diseñar el esquema eléctrico de alimentación adecuado.

- Identificar el Sistema Físico de Adquisición y Procesamiento de Datos adecuado.
- Determinar las condiciones que deberán ser consideradas en “laboratorio”.
- Esquematizar los procesos a automatizar y datos a recolectar y procesar del Protocolo de Prueba de Ebullición de Agua (WBT, por sus siglas en inglés Water Boiling Test).

2. *Construir el prototipo del SIMEEE.* Acciones:

- Construir la estructura del SIMEEE.
- Incorporar los sensores a la estructura del SIMEEE.
- Cablear sensores y estructura.
- Calibrar sensores.

3. Validar el SIMEEE. Acciones:

- Realizar pruebas utilizando el SIMEEE y de manera tradicional para realizar comparación.
 - ✓ De la infraestructura de Hardware completa para validar la operación.
 - ✓ De la captura de datos para validar la operación del Colector de Datos.
 - ✓ De la lectura de datos a través de Labview para validar su operación.
 - ✓ Del procesamiento de datos de acuerdo con los protocolos y metodologías de evaluación para validar el procesamiento de la información.

Se compararán los resultados obtenidos y procesados a través del SIMEEE vs la forma tradicional de aplicar las evaluaciones, de acuerdo con los cálculos y operaciones indicados por la Global Alliance for Clean Cookstoves.

Bibliografía

- [1] Global Alliance for Clean Cookstoves, “Clean Cookstoves - Health.” [Online]. Available: <http://cleancookstoves.org/impact-areas/health/>.
- [2] Global Alliance for Clean Cookstoves, “Clean Cookstoves - Livelihoods.” [Online]. Available: <http://cleancookstoves.org/impact-areas/livelihoods/>.
- [3] J. Jetter *et al.*, “Pollutant emissions and energy efficiency under controlled conditions for household biomass cookstoves and implications for metrics useful in setting international test standards,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 46, no. 19, pp. 10827–10834, 2012.
- [4] Global Alliance for Clean Cookstoves, “New Tools Launched to Guide Regional Testing and Knowledge Centers on the Path to Sustainability.” [Online]. Available: <http://cleancookstoves.org/about/news/04-18-2016-new-tools-launched-to-guide-regional-testing-and-knowledge-centers-on-the-path-to-sustainability.html>.
- [5] Global Alliance for Clean Cookstoves, “Testing.” [Online]. Available: <http://cleancookstoves.org/about/news/01-01-1990-testing.html>.

Capítulo 1.

Panorama de los principales Centros de Evaluación con Sistemas de Monitoreo

Tabla de contenido

Dedicatoria	I
Capítulo 1.	12
Panorama de los principales Centros de Evaluación con Sistemas de Monitoreo.....	12
Capítulo 1. Panorama de los principales Centros de Evaluación con Sistemas de Monitoreo	14
1.1 Estufas Ecológicas	15
1.2 Centros de Evaluación con Sistemas Automatizados	19
1.3 Aprovecho Research Center, Estados Unidos.	20
1.3.1 Laboratory Emissions Monitoring System - LEMS	21
1.3.1.1 Usos del sistema LEMS	25
1.3.1.2 Cómo funciona el sistema LEMS	25
1.3.1.3 Resultados entregados por el LEMS	30
1.4 Centros de Evaluación y Conocimiento Regionales (RTKC's) que cuentan con el sistema LEMS como SIMEEE.	31
1.5 Asia Regional Cookstove Program (ARECOP).	32
1.6 Berkeley Air Monitoring Group.	33
1.7 Lawrence Berkeley National Laboratory	35
1.8 University of the Philippines Diliman	36
1.9 U. S. Environmental Protection Agency	37
Conclusión	37
Bibliografía	39
Anexos	41

Capítulo 1. Panorama de los principales Centros de Evaluación con Sistemas de Monitoreo

Los Centros de Conocimiento y Evaluación Regionales (RTKCs en inglés) proveen garantías sobre la calidad y el desempeño de la tecnología para fabricantes clientes, y otras partes interesadas. RTKCs también apoya a los productores locales y fabricantes para mejorar los productos, comunicar el desempeño a los clientes, y proveer entrenamiento y otros recursos para catalizar actividades de estufas y combustibles.

Esta lista incluye organizaciones que están enfocadas en una evaluación de estufas ecológicas y combustibles y/o el diseño, ver Anexo A.

Actualmente en el Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables, se ha desarrollado un laboratorio para la evaluación de estufas ecológicas, así como una variedad de este tipo de estufas para esta finalidad, así también el desarrollo propio de una Metodología de Evaluación de Estufas Ecológicas. Dichas evaluaciones se realizan el día de hoy de forma manual, por lo que el siguiente paso es abastecer al centro con herramientas que evolucionen en la manera en que se realizan las actividades experimentales para que dicho laboratorio esté a la vanguardia tecnológica y en posición de ofrecer beneficios de esta naturaleza a la sociedad.

Por otro lado, ya existen Centros de Evaluación que cuentan con un sistema de monitoreo para evaluación de estufas ecológicas automatizados, denominado LEMS (Laboratory Emissions Monitoring System), desarrollado por el Centro de Investigación Aprovecho (ARC, por sus siglas en inglés Aprovecho Research Center). Este centro de investigación afirma que LEMS es capaz de medir Emisiones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), partículas en

suspensión de menos de 2.5 micras PM2.5, carbón negro, y aplicar los siguientes dos de los Protocolos Internacionales para evaluación de estufas ecológicas [1]:

- Prueba de Ebullición del Agua (WBT, por sus siglas en inglés Water Boiling Test).
- Prueba de Cocción Controlada (CCT, por sus siglas en inglés Controlled Cooking Test).

1.1 Estufas Ecológicas

Los primeros proyectos de estufas mejoradas se realizaron en la India e Indonesia en los años cincuenta. En África, particularmente en el Sahel, se iniciaron después de la sequía ocurrida a finales de la década de los setenta y en América Central, tras el terremoto de Guatemala en 1976. La primera generación de estufas, introducidas en su mayoría por iniciativa de los países industrializados occidentales, incluía dispositivos con chimenea, y eran para dos o tres ollas o cacerolas. En general resultaron modelos complicados, costosos o difíciles de construir.

Los modelos de la segunda generación (1980-1990) estaban mejor estudiados y adaptados a los problemas de la escasez de leña, a las necesidades de las usuarias, de los productores y de los mercados. Este enfoque, mejor adaptado a las condiciones locales (materiales, técnicas de construcción, procesos de difusión), se caracterizó por una clara participación tanto de especialistas en diseño, como de expertos conocedores de las condiciones locales y de las organizaciones de base. Los principales modelos difundidos entonces eran las estufas de barro para una olla, con chimenea, fabricados por las usuarias (autoconstrucción) y las estufas de cerámica o metal fabricadas por artesanos y difundidas a través de los mecanismos tradicionales y de proyectos enfocados a la apertura de nuevos mercados (comercialización).

A principios del siglo veinte, la Fundación Shell impulsó una iniciativa para desarrollar programas exitosos de estufas de leña. Dentro de esta iniciativa se financiaron cuatro proyectos en el mundo para desarrollar métodos estandarizados de evaluación y monitoreo tanto de los cambios en la calidad del aire como de los ahorros en consumo de leña de las estufas. Uno de estos proyectos fue ejecutado en México por el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A. C. (GIRA) y la UNAM; otro en Guatemala fue realizado por HELPS International y dos en India estuvieron a cargo del Appropriate Rural Technology Institute (ARTI) y el Development Alternatives Group (DA). En este esfuerzo participaron activamente varias instituciones de investigación: la UNAM, el Instituto Nacional de Ecología (INE), el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), la University de California (Irvine y Berkeley) y la Universidad de Liverpool.

En esta tercera ola de las estufas de leña, también han participado intensamente organismos nacionales e internacionales tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), el Programa Mundial de Alimentos (PMA), el Banco Mundial (BM) y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), entre otros. Esta nueva etapa ha permitido sustentar con información técnica y científica los problemas asociados a los fogones tradicionales, y los beneficios generados por las estufas de leña, principalmente en los aspectos de salud, ambiente y economía, así como su importancia social y cultural. La experiencia lograda en la última década puede agruparse en cuatro temas: 1) Tecnología, 2) Modelos de disseminación, 3) Seguimiento y evaluación y 4) Medición de impactos.

Estos avances han permitido que en la actualidad se produzcan más de un millón de estufas por año, que son implementadas en más de 160 programas de estufas en el mundo. Los países donde se ejecutan los proyectos más grandes son: China, India, Kenia y, en América Latina, Perú y México.

Según el estudio “Estufas Ahorradoras de Leña para el Hogar Rural (CATIE 1994), se han desarrollado varios tipos de estufa ahorradora de leña en la región centroamericana como la Josefina, Santa Ana, Mejorada y Ceta. Al evaluarse éstas, además de reducir el consumo de leña, reducen el tiempo de cocción de los alimentos, el humo de la cocina, el tiempo que la familia invierte en la recolección de leña y, consecuentemente, contribuyen a reducir la deforestación.

Los programas realizados y de los que se tiene información han mostrado los beneficios al ambiente local y global, pero sobre todo, los beneficios a la salud, el ahorro de tiempo y dinero, y en general el mejoramiento de la calidad de vida de las familias. Se estima que en el mundo actualmente 820 millones de familias disfrutan los beneficios que producen las estufas ecológicas.

Recientemente se lanzó la Alianza Global para las Estufas Ecológicas (Global Alliance for Clean Cookstoves) con apoyo del gobierno de Estados Unidos de Norteamérica, la Fundación de las Naciones Unidas, la Fundación Shell y otras instituciones y organizaciones. Esta gran alianza pretende impulsar la difusión de 100 millones de estufas limpias para el año 2020. Con esta acción, se hace un reconocimiento público de la problemática asociada al uso de tecnologías tradicionales, pero, sobre todo, nuevamente se impulsan medidas para resolver este complejo problema con metas en el corto, mediano y largo plazos.

La experiencia documentada, muestra que una de las principales barreras que ha limitado el éxito de los programas de estufas es la falta de seguimiento constante para asegurar el uso de las estufas e incrementar la adopción. Esto se podría superar si los proyectos tomaran como indicador el número de las que son utilizadas de manera cotidiana en el mediano y largo plazos, y no sólo se contabilizara la cantidad de estufas construidas o instaladas.

En el ámbito internacional, en el año 2010 se lanzó la Iniciativa Nacional de Estufas en la India, que pretende desarrollar una nueva generación de estufas eficientes y limpias para llevarlas a todas las viviendas que usan fogones tradicionales.

En las dos iniciativas internacionales mencionadas se reunieron expertos en las diferentes áreas vinculadas al tema: científicos, fabricantes, implementadores, donantes e instituciones de gobierno, quienes de manera conjunta trabajaron en el diseño de una estrategia global para implementar proyectos de gran escala, buscando la sostenibilidad y soluciones de mercado ante los retos que plantean las prácticas tradicionales de cocinado.

Otras iniciativas nacionales recientes son las de Perú y México. En Perú se le denomina: “Campaña: medio millón de cocinas mejoradas por un Perú sin humo”; este programa inició en junio de 2009 y terminó en diciembre de 2011. Uno de los principales logros de esta iniciativa es la coordinación establecida, ya que se involucró a siete ministerios de gobierno, se firmaron varios decretos gubernamentales que contemplan temas económicos, políticos y por supuesto, una norma para la construcción de las estufas y un reglamento de certificación de las tecnologías.

Actualmente existe una amplia variedad de modelos de estufas ecológicas disponibles, con variaciones significativas respecto al aspecto físico, materiales de construcción, costo y cantidades ofertadas. Sin embargo, sólo para algunas de ellas, se cuenta con algún tipo de información sobre su eficiencia energética, grado de aceptación de la población, aspectos socioeconómicos, aceptación y de emisiones generadas, aspectos que son cruciales para lograr los objetivos de programas de implementación relacionados con protección a la salud y al ambiente.

Durante 2008 el INE llevó a cabo un estudio para analizar diferentes criterios que pueden ser considerados para la evaluación de estufas mejoradas, así como los principales elementos de juicio que deben ser considerados en la selección de

éstas, que se presentan en una matriz de evaluación de estufas mejoradas. El objetivo del estudio es coadyuvar a la selección de estufas mejoradas para que sean implementadas a través de un programa masivo de intervención en zonas de alta y muy alta marginación en nuestro país a partir de la evaluación de la eficiencia energética, de reducción de contaminantes en interiores, de la reducción de gases efecto invernadero y los aspectos socioeconómicos que impactan en su adopción y aceptación [2].

En nuestro país no existen normas técnicas para evaluar el desempeño de estufas ecológicas por lo que únicamente se cuenta con la información que proporcionan los proveedores o algunos reportes sobre experiencias de implementación. Tampoco existían laboratorios que puedan evaluar el desempeño de estas tecnologías. Sin embargo, existen normas de calidad del aire ambiente que inicialmente pueden servir de base para cuantificar contaminantes atmosféricos en espacios interiores.

1.2 Centros de Evaluación con Sistemas Automatizados

La Alianza Global para Estufas Ecológicas es una asociación patrocinada por la asociación de las Naciones Unidas para salvar vidas, mejorar los medios de subsistencia, empoderar a las mujeres, proteger al ambiente creando un próspero mercado global para soluciones de cocción domésticas limpias y eficientes. La meta de la Alianza “Alliance’s 100 by ‘20” pretende alcanzar la adopción de cocinas y combustibles limpios en 100 millones de hogares en 2020.

La Alianza Global para Estufas Ecológicas es la institución oficial que reconoce a los RTKCs.

Pruebas Basadas en Laboratorio evalúan el desempeño y calidad en configuraciones controladas con repetibilidad, permitiendo la diferenciación entre estufas. Las Pruebas Basadas en Campo demuestran cómo se desempeñan las

estufas con cocineros, alimentos, prácticas y combustibles locales. La Alianza mantiene una lista comprensiva de protocolos (para un rango de tipos de estufa y combustible) y archiva las versiones anteriores (disponibles bajo solicitud).

La Prueba de Ebullición de Agua, el Protocolo de Seguridad de la Estufa de Biomasa, la Prueba de Cocción Controlada, la Prueba de Durabilidad, y la Prueba de Desempeño de Cocina, fueron desarrolladas colaborativamente por múltiples socios de la Alianza. Los otros protocolos que se comparten fueron desarrollados colaborativamente por organizaciones o países socios de manera individual. Los socios de la Alianza están colaborando para desarrollar y armonizar los protocolos [3].

A continuación, a partir del subcapítulo 1.4, se presentan las principales instituciones en el mundo donde se evalúa la eficiencia de las estufas ecológicas y su impacto a la salud y el medio ambiente.

1.3 Aprovecho Research Center, Estados Unidos.

El ARC, es una corporación sin fines de lucro establecida en 1976, se dedica a la investigación, desarrollo y difusión de soluciones tecnológicas adecuadas para satisfacer las necesidades humanas básicas de los refugiados y las personas empobrecidas.

El ARC en este momento está muy involucrada en el diseño y ensayo de estufas súper limpias y desarrollan libros educativos, videos y otros medios de comunicación que utilizan sencillo lenguaje fácil de entender, para enseñar métodos y principios para el diseño y difusión de estufas ecológicas y calefacción. Proveen asistencia técnica y capacitación a las organizaciones no gubernamentales y grupos locales de desarrollo y difusión de estufas. Tienen un laboratorio de pruebas y evaluación de estufas [4].

1.3.1 Laboratory Emissions Monitoring System - LEMS

El ARC manufactura y vende el Sistema de Monitoreo de Emisiones en Laboratorio (LEMS por sus siglas en inglés Laboratory Emissions Monitoring System). Más de 15 laboratorios de Estufas alrededor del mundo utilizan el LEMS, la mayoría la utilizan cada día para probar y mejorar estufas.



Figura 1. El LEMS se encuentra en uso por investigadores de estufas alrededor del mundo.

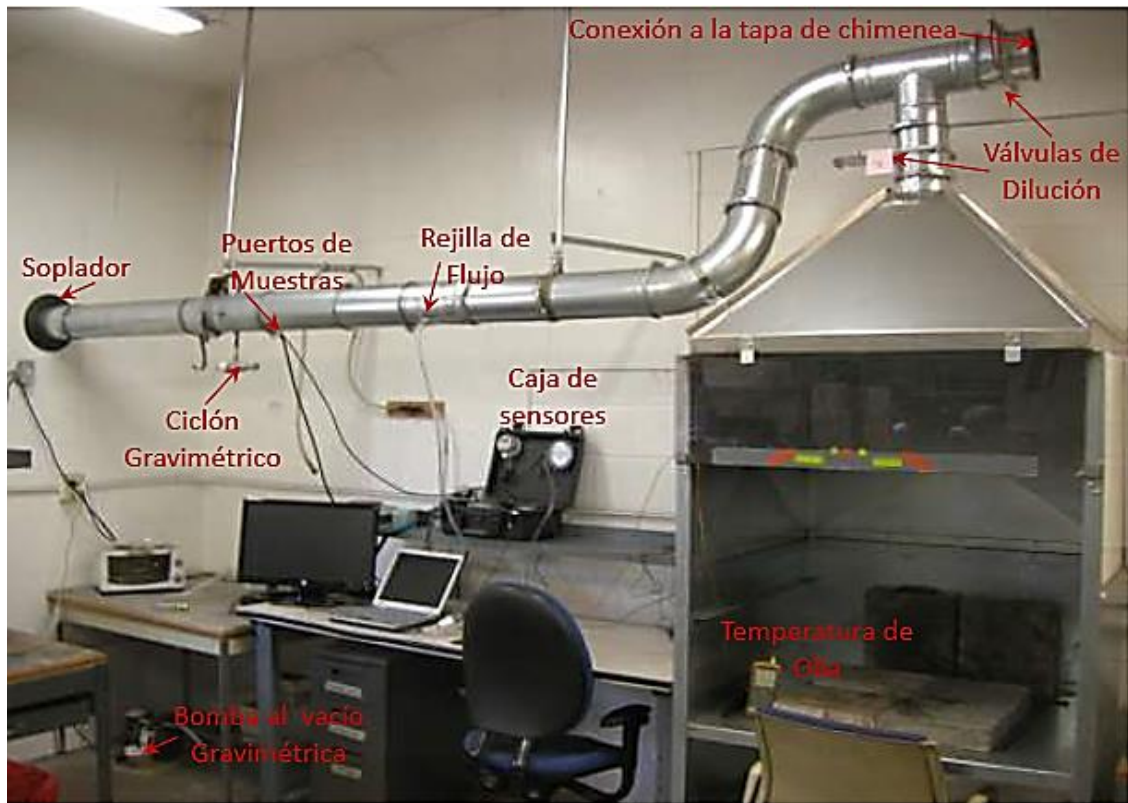


Figura 2. Campana de LEMS, Ductería, y Ensemble Gravimétrico



Figura 3. Gráfica en vivo de salida de la caja de sensores



Figura 4. Ensemble Gravimétrico

La campana de chapa maciza y un ventilador grande de velocidad variable permiten al LEMS medir exactamente las emisiones de las estufas (CO, CO₂, PM_{2.5}, carbón negro) que van desde pequeñas TLUDs hasta estufas gigantes institucionales. PM_{2.5} es medido en tiempo real y mostrado en pantalla, y con los filtros

gravimétricos medidos antes y después. El LEMS ha estado en uso por 10 años y reúne todos los requerimientos ISO:

- Una nueva tapa de prueba de chimenea de estufa hace más fácil probar chimeneas de estufas.
- La LEMs ahora mide carbón negro.
- La nueva caja sensor fue rediseñada y mejorada en 2016.
- El software también es más fácil de utilizar.

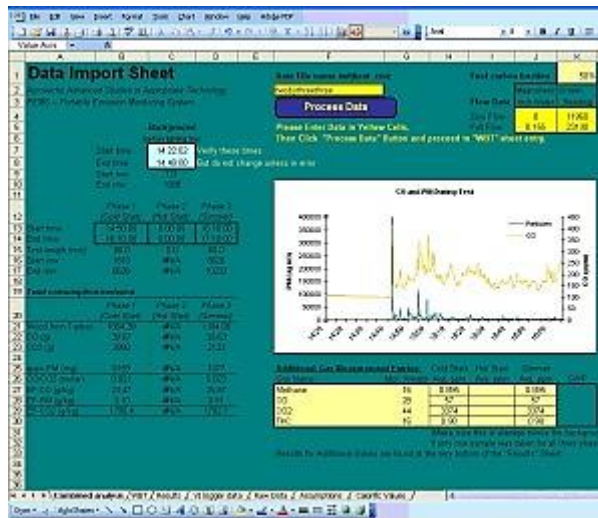


Figura 5. El software de análisis está escrito en Excel y utiliza macros

La manera en que LEMS funciona es que mide el total de emisiones producidas durante la combustión de la estufa. La estufa está colocada bajo un toldo el cual colecta las emisiones y el aire del laboratorio. La tasa de flujo y la temperatura de escape son medidas en el tubo de escape. Una fracción del flujo a través del sistema es conducida por una bomba de succión a través de una línea de muestra a los sensores.

LEMS cuenta con Pruebas Definidas por el Usuario, es decir, que pueden ser adaptadas para ajustarse a cualquier prueba deseada. Además de las pruebas estándares Prueba de Ebullición del Agua y Prueba de Cocción Controlada, salidas de emisiones adicionales incluyen medidas importantes tales como:

- Factores de Emisión (por Kg o MJ o combustible).
- Emisiones totales.
- Coeficiente de Referencia Emisión/CO₂.
- También un balance de carbón es calculado automáticamente para asegurar que las emisiones medidas se encuentran en el rango propio con respecto al carbono quemado en el combustible.

El software de adquisición de datos consiste en un sencillo programa de flujo de datos y software graficador en Java.

El software de procesamiento está escrito en Visual Basic para Microsoft Excel 2003 para Windows y consiste en una hoja de cálculo sencilla que incorpora y procesa datos.

Se necesita un equipo de cómputo con Microsoft Excel instalado. Las Macros deben estar habilitadas en las configuraciones de seguridad para que funcione el software.

El LEMS puede ser utilizado para varios procedimientos de pruebas:

WBT – la prueba de laboratorio estándar para optimizar los diseños de estufa de cocción.

CCT – Probar lo que ocurre cuando un cocinero local prepara comida común utilizando ambas, las estufas tradicionales y mejoradas para comparaciones.

CONTROL DE CALIDAD – Cuando varias estufas son producidas, una muestra al azar puede ser seleccionada y probada para asegurar que el desempeño está a la par que las especificaciones.

CRÉDITOS DE CARBÓN – Con la medición de CO₂ incorporada, y el “add-on” de metano disponible, los factores de emisión actuales pueden ser medidos y usados

en lugar de los IPCC de default cuando los créditos de carbón están siendo utilizados [5].

1.3.1.1 Usos del sistema LEMS

Pruebas de Laboratorio:

- Prueba de Ebullición del Agua (WBT).
- Prueba de Cocinado Controlado (CCT).

Enseñanza y diseño – La muestra de emisiones en tiempo real provee retroalimentación inmediata para el evaluador. Los diseñadores pueden realizar modificaciones a sus estufas y presenciar cambios en emisiones, usando este proceso para afinar el diseño de las estufas.

Control de Calidad – algunos usuarios del sistema han reportado utilizar este sistema para control de calidad de estufas hechas en sus fábricas. Estufas muestra son evaluadas rutinariamente para asegurar que cada lote se desempeñe de acuerdo a las especificaciones [5].

1.3.1.2 Cómo funciona el sistema LEMS

El LEMS mide el total de emisiones producidas durante la combustión. La estufa es colocada por debajo de una campana la cual recolecta las emisiones y aire del laboratorio. La tasa de flujo y temperatura de escape son medidos en el tubo de escape. Una fracción del flujo a través del sistema es extraída por una bomba de succión a través de una línea de muestreo a los sensores. Separadamente, una medición de termopar es registrada de la temperatura de la olla (agua). Una computadora muestra y registra las temperaturas, flujo y concentraciones en tiempo real. El evaluador entonces procesa los datos registrados (archivo .csv) utilizando

el software provisto para reportar el desempeño de la estufa basado en la masa medida de las emisiones [5].

Sensores

El Sensor de Monóxido (CO) es una célula electroquímica. La conductividad entre 2 electrodos en la célula es proporcional a la concentración de CO presente. Esta célula tiene una terminal de referencia y requiere un controlador potencioestático.

El Sensor de Dióxido de Carbono utiliza un infrarrojo no dispersivo (NDIR) para medir la concentración de CO₂ y salidas de voltaje. Es auto calibrable, con gas Nitrógeno puro utilizado para un cero de referencia.

El LEMS tiene 2 sensores de Materia de Partículas:

- El fotómetro de dispersión tiene ambos, un receptor láser y uno de luz. Cuando el humo ingresa a la cámara de detección, las partículas del humo dispersan la luz del láser hacia el receptor.
- El sistema gravimétrico entrega una medición directa de PM total usando un muestreo basado en filtros. Una bomba de vacío jala una muestra a través de la línea de muestras y el orificio crítico, el cual mantiene el flujo a unos 16.7 L/min estable. Un separador de partículas ciclón es utilizado de manera que todo el PM_{2.5} es recolectado en un filtro de fibra de vidrio mientras la bomba está encendida. El filtro es pesado antes y después de calcular la masa total de PM_{2.5}.
- El flujo es medido por un transductor de presión el cual imprime una señal basada en la caída de presión medida a lo largo de la rejilla de flujo. La rejilla del flujo es un tupo de Pitot amplificado que provee una caída de baja presión a través del sistema y una fuerte señal de diferencial de presión, promediado a lo largo de la sección transversal del ducto entero. Velocidad del gas de escape, volumen, y el caudal de masa dentro del ducto son calculados en la

caída de presión registrada utilizando el transductor de presión Magnesense®.

- La medición de presión análoga es provista por el sensor Magnehelic®. Midiendo en paralelo al transductor de presión mencionado antes, el sensor Magnehelic provee una calibración al Magnesense para cada prueba. El sensor Magnehelic también puede ser usado para equilibrar la presión de los tanques de calibración con la presión de succión de la bomba de la caja de sensores. Finalmente, los flujos más altos dentro del ducto son representados por valores más altos en el Magnehelic, reportado en pulgadas de agua.
- La temperatura del escape de gas es medida por el sensor en tiempo real. Los datos son requeridos para calcular la densidad del escape de aire para entonces poder calcular el flujo de masa de las emisiones.
- El sensor de temperatura Termopar es usado para registrar la temperatura del agua de la olla. La lectura de la temperatura del Termopar es lineal y la sonda del termopar provista con el LEMS está calificada para temperaturas hasta los 250 °C [5].

Procesamiento de Datos

- Los datos son guardados automáticamente en una ruta en la PC.
- Los datos son guardados en software escrito en Microsoft Excel.
- Es necesario abrir el archivo de procesamiento de datos. Hacer clic en “Habilitar Macros” cuando aparezca la advertencia de que está a punto de abrir un archivo Macro.

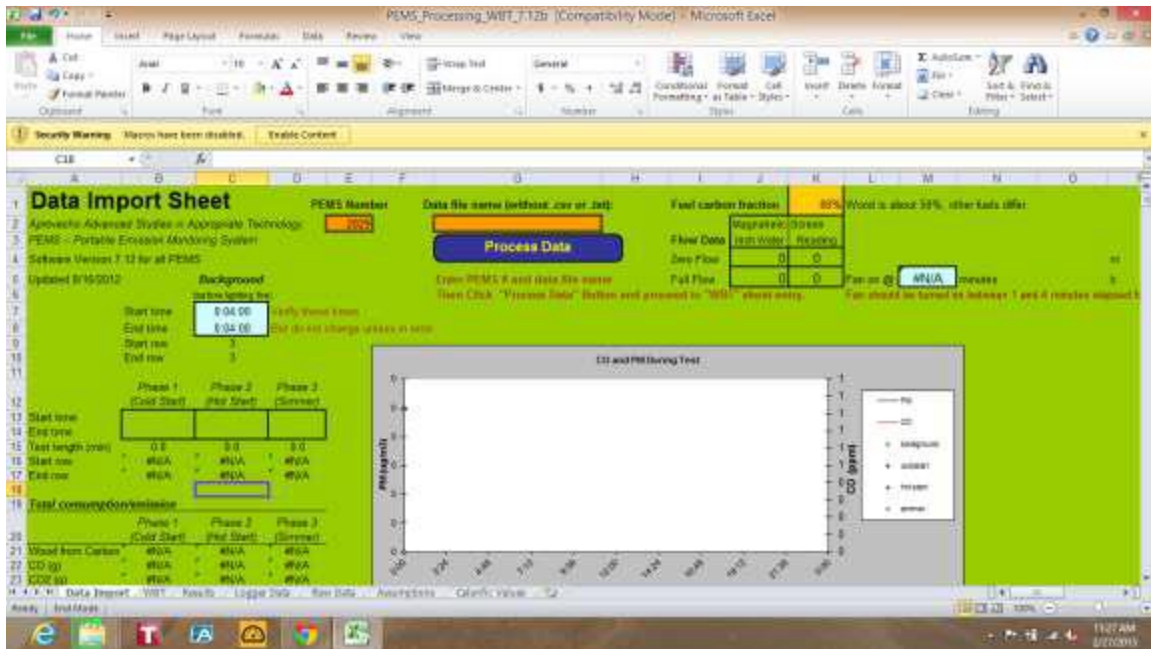


Figura 6. Leyenda de Advertencia de seguridad de Macro en el archivo de procesamiento de datos

- Elija la Hoja de Importación de Datos. Ingrese el número serial de la caja de sensores de LEMS (ubicado en la esquina derecha superior del interior del tablero de aluminio). Entonces ingrese el nombre del archivo en las celdas naranja, y verifique el contenido de carbón del combustible. El número serial identifica el formato del archivo de datos de la hoja de cálculo.
- Haga clic en el botón de “Procesar Datos”. Espere mientras los datos son procesados. Si no sucede nada al hacer clic en el botón, los Macros son deshabilitados por seguridad y deben ser habilitados por las instrucciones en la sección anterior.
- El software le solicitará salvar el archivo completado. El archivo de procesamiento original por sí mismo no debe de ser salvado con ningún cambio.
- Ingrese toda la información del WBT o CCT en la hoja de WBT o CCT. El tiempo debe ser ingresado en formato de 24 horas HH:MM:SS, tal como 15:34:12. Haga clic sólo una vez en la celda y simplemente teclee este número.

- Una vez que los datos son ingresados en la hoja de WBT o de CCT, regrese a la hoja de Importar Datos para verificar que los tiempos de fondo son correctos. Ellos deben ser automáticamente 4 minutos después de que el registro fue comenzado, y 2 minutos antes de que inicie la evaluación. También verifique que los tiempos de inicio y final de las fases de las evaluaciones y asegúrese de que el número de renglones está listado, no un #N/A.
- Si los gases adicionales fueron medidos, en la hoja de Importación de Datos hay un espacio para ingresar el nombre, peso molecular, y las concentraciones de esos gases. Los datos serán calculados automáticamente, inclusive después de que el botón de “Procesar Datos” ha sido presionado.
- Vea la Hoja de Resultados para ver los datos finales [5].

1.4 Centros de Evaluación y Conocimiento Regionales (RTKC's) que cuentan con el sistema LEMS como SIMEEE.

A continuación, se enlistan los RTKC's suscritos a la Alianza Global de Estufas Ecológicas cuyo SIMEEE es el LEMS desarrollado por el grupo Aprovecho, confirmado por ellos a través de correo electrónico.

RTKC	País
Aprovecho Research Center	Estados Unidos
Centre for Research in Energy and Energy Conservation (CREEC)	Uganda
Burn Design Lab	Uganda
Centre for Rural Technology, Nepal (CRT/N)	Nepal
Centre for Studies and Research on Renewable Energy Kitsisa Khonde (CERERK)	República Democrática del Congo
Clean Cookstoves Development and Testing Center	Nigeria
GERES Biomass Energy Lab (G-BEL)	Cambodia
Nyabyeya Forestry College	Uganda
Renewable Energy Testing Station	Nepal
The Centre for Study and Research on Renewable Energy (CERER)	Senegal
Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM), Laboratorio de Estufas Mejoradas (LEM-CiEco)	México
University of Nigeria	Nigeria
Zamorano University Improved Stove Certification Center	Honduras

Tabla 1. RTKC's que utilizan LEMS del grupo Aprovecho

1.5 Asia Regional Cookstove Program (ARECOP).

El Programa de Estufas Regionales de Asia ubicado en Yogyakarta, Indonesia cuenta con un laboratorio con tecnología propia el cual se muestra a continuación.



Figura 8. Laboratorio de Evaluación de Estufas en ARECOP

1.6 Berkeley Air Monitoring Group.

Es una empresa social dedicada a proteger el clima y la salud global. Es socio líder en monitoreo y evaluación para programas de estufas ecológicas y combustible en países en desarrollo.

Berkeley Air es independiente y no promueve ninguna tecnología o combustible en particular.

Trabajan con una red de asociados técnicos en Asia, África y América Latina para construir capacidad local y proveer una entrega de servicio económico.

Es una consultoría con fines de lucro incorporada en California Estados Unidos en 2008.

Provee servicios de trabajo en campo, consultoría y pruebas de laboratorio [6].

Los instrumentos de monitoreo son los siguientes:

PLATAFORMA PARA EVALUACIÓN INTEGRADA DE ESTUFAS (PLATFORM FOR INTEGRATED COOKSTOVE ASSESSMENT – PICA)

Es una suite de herramientas para recolectar el desempeño de estufas. Es una plataforma de software y sensor económica y robusta para recolectar en campo datos de desempeño, incluyendo contaminación del aire en casa. Exposición personal, emisiones y uso de estufas. PICA realiza evaluaciones en campo de estufas y otros dispositivos de energía en el hogar más eficiente, más exacto, más accesible, y por lo tanto, más económico [7].

SENSOR DE TEMPERATURA Y PARTÍCULAS (PARTICLE AND TEMPERATURE SENSOR – PATS+)

El PATS+ es un pequeño instrumento portátil de registro de datos, que mide la materia particular (PM_{2.5}) en tiempo real. El PATS+ opera con el software PICA, el cual lanza, descarga y despliega la información [7].



Figura 9. PATS+

SISTEMA DE MONITOREO DE USO DE ESTUFAS (STOVE USE MONITORING SYSTEM – SUMS)

Desarrollado en conjunto con el grupo de investigación de Kirk R. Smith en la Universidad de California Berkeley, provee de información objetiva en el uso de estufas y adopción de tecnologías de cocinado. El SUMS está basado en registradores de temperatura comercialmente disponibles a bajo costo acoplado con el software PICA o el visor OneWire para la administración del instrumento. Datos sin procesar pueden ser analizados en la aplicación “open source” SUMSARIZER. Al registrar la temperatura de la estufa sobre el tiempo. SUMS cuantifica el número de usos de estufa (eventos de cocinado) y el tiempo de uso, proveyendo información valiosa a los patrones de uso y apilamiento de estufa (el uso de múltiples estufas por casa) [7].



Figura 10. Sistema de monitoreo de Berkeley Air Monitoring Group.

Otras instituciones que cuentan con este sistema:

RTKC	País
Laboratorio de Evaluación y Certificación de Cocinas de la Gerencia de Investigación y Normalización de SENCICO	Perú

1.7 Lawrence Berkeley National Laboratory

El laboratorio de estufas mantiene un laboratorio de evaluación y pruebas en el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley en Berkeley, California, cerca del campus

UC Berkeley. Este laboratorio es de desarrollo propio y además utiliza el sistema SUMS de Air Berkeley Monitoring Group [8].

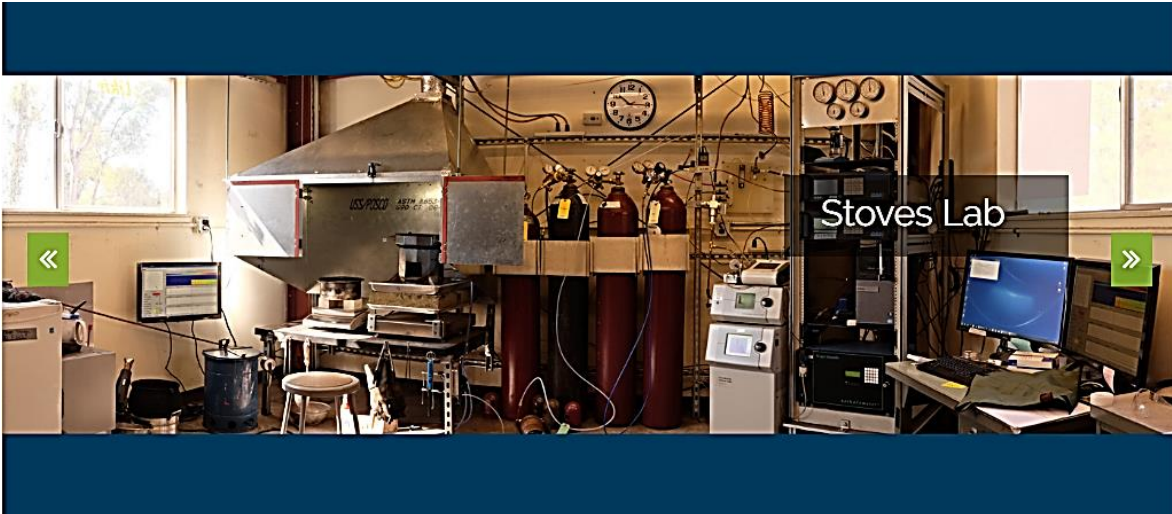


Figura 11. Laboratorio de Estufas de en el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley en Berkeley

1.8 University of the Philippines Diliman

En el laboratorio de esta universidad, Mylene Cayetano, representante del laboratorio nos indican que no cuentan con un sistema completo de monitoreo, sino solo con algunos sensores los cuales actúan de manera autónoma durante las evaluaciones. Utilizan lo siguiente:

- Termopar con monitor digital para las lecturas de la temperatura, pero el registro de datos es manual.
- Para la medición de CO₂ cuentan con un dispositivo infrarrojo de medición continua, con un sistema de registro de datos automático.
- Para PM la recolección es manual utilizando un muestrario Minivol, y luego gravimetría.
- Para los cálculos utilizan la hoja de cálculo provista por la Alianza Global de Estufas Ecológicas.

1.9 U. S. Environmental Protection Agency

James Jetter, Ingeniero investigador Senior y líder de un equipo de investigadores en la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, informó directamente que la Agencia cuenta con su propio laboratorio de evaluación de estufas, y desarrollaron un sistema que incluye:

- Campana de captura total y túnel de dilución para medir emisiones contaminantes del aire.
- Instrumentos para medir concentraciones de contaminantes gaseosos y propiedades de contaminantes de aerosol.
- Equipo de muestreo gravimétrico (filtro) para medir la masa de emisiones PM2.5.
- Sistema de Adquisición de datos para capturar los datos de medición de datos.
- Hoja de cálculo para procesamiento de datos.
- Plantilla para reporte de resultados.

El sistema fue financiado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos y desarrollado en co-autoría con Kirk Smith, MPH, PhD, Profesor de Salud Ambiental Global en la Universidad de California, Berkeley.

Conclusión

Existe una tendencia por parte de los RTKC's a evolucionar la manera en que realizan las evaluaciones a las estufas con la intención de tener datos e información de especificaciones con el menor error posible con la intención de poder crear mejores estufas para el uso del ser humano en diferentes sociedades y estas reduzcan los riesgos a la salud que, dependiendo de los modelos de estufa, pudieran generar a quienes las utilizan directa e indirectamente, así los fabricantes pueden mejorar sus diseños y ponerlos al alcance de comunidades que utilizan a

estas estufas como parte de su vida diaria. Algunos laboratorios han optado por desarrollar sus propios sistemas de monitoreo con un medio de adquisición de datos de manera automatizada haciendo uso de instrumentos y sensores que ya cuentan con sistemas propios de adquisición de datos o incorporando instrumentos para poder incorporar instrumentos que no cuenten con un sistema de adquisición de datos propietario. Lo importante es que logran que estos dispositivos operen de manera controlada y programada.

Dado que Chiapas se ubica en el sur del país, área geográfica donde predominan comunidades con uso de estufas ecológicas, y IIIER se encuentra dando los pasos necesarios para contar con una infraestructura de evaluación confiable, es indispensable que exista un Centro de Evaluación que entregue a sus fabricantes y usuarios de estufas ecológicas una calidad y clasificación de las mismas de alta confiabilidad.

Bibliografía

- [1] Aprovecho Research Center, “Laboratory Emissions Monitoring System (LEMS) Aprovecho.” [Online]. Available: <http://aprovecho.org/portfolio-item/laboratory-emissions-monitoring-system/>.
- [2] O. Martínez Aguirre, “Desarrollo de un laboratorio y una metodología para la evaluación de estufas ecológicas,” 2016.
- [3] Global Alliance for Clean Cookstoves, “About.” [Online]. Available: <http://cleancookstoves.org/about/>.
- [4] Yayasan Dian Desa, “From Water Boiling Test to Water Heating Test Case Study of Indonesia,” 2015. [Online]. Available: <http://www.diandes.org/daily-blog-project-news/from-water-boiling-test-to-water-heating-test-case-study-of-indonesia/>.
- [5] Aprovecho Research Center, “Instructions for Use of the Laboratory Emissions Monitoring System (LEMS).” pp. 1–39, 2013.
- [6] Global Alliance for Clean Cookstoves, “Global Alliance for Clean Cookstoves - Berkeley Air Monitoring Group.” [Online]. Available: <http://cleancookstoves.org/partners/item/999/204>.
- [7] Berkeley Air Monitoring Group, “Berkeley Air Monitoring Group Monitoring Instruments (Sales & Rentals).” [Online]. Available: <http://berkeleyair.com/monitoring-instruments-sales-rentals/>.
- [8] Berkeely Lab, “Cookstoves - Berkeley Lab.” [Online]. Available:

<http://cookstoves.lbl.gov/>.

Anexos

Anexo A

En la siguiente tabla se muestra el listado de todos los RTKCs provista por La Alianza Global de Estufas Ecológicas

Nombre	País	Ubicación	Contacto	Email
Aprovecho Research Center	Estados Unidos	Cottage Grove, Oregon	Dean Still	<u>deankstill@gmail.com</u>
Asia Regional Cookstove Program (ARECOP)	Indonesia	Yogyakarta	Christina Aristanti Tjondroputro	<u>christina@arecop.org</u>
Asian Institute of Technology	Tailandia	Khlong Nueng	Nguyen Thi Kim Oanh	<u>kimoanh@ait.ac.th</u>
Bangladesh Council for Scientific and Industrial Research	Bangladesh	Dhaka	Mohammad Rouf	<u>roufmd@yahoo.com</u>
Bangladesh University of Engineering and Technology	Bangladesh	Dhaka	Md Mominur Rahman	<u>mrrahman@che.buet.ac.bd</u>
Beijing University of Chemical Technology (BUCT)	China	Beijing	Guangqing Liu	<u>guangqing.liu@gmail.com</u>
Berkeley Air Monitoring Group	Estados Unidos	Berkeley	David Pennise	<u>dpennise@berkeleyair.com</u>
Bureau of Mines and Energy Improved Cooking Technology Program	Haití	Puerto Príncipe	Jean Robert Altidor	<u>csaaltidor@gmail.com</u>

Nombre	País	Ubicación	Contacto	Email
Burn Design Lab	Estados Unidos	Vashon Island, Washington	Paul Means	paul@burndesignlab.org
Centre for Integrated Research and Community Development Uganda (CIRCODU)	Uganda	Kampala	Joseph Arineitwe Ndemere	josephndemere@gmail.com
Centre for Research in Energy and Energy Conservation (CREEC)	Uganda	Kampala	Agnes Naluwagga	analuwaga@creec.or.ug
Centre for Rural Technology, Nepal (CRT/N)	Nepal	Kathmandu	Ganesh Ram Shrestha	ganesh@crtnepal.org
Centre for Studies and Research on Renewable Energy Kitsisa Khonde (CERERK)	República Democrática del Congo	Kinshasa	Oscar Mulumba	ml_oscar@hotmail.com
China Agricultural University (CAU)	China	Beijing	Yuguang Zhou	zhouyg@cau.edu.cn
Clarkson University	Estados Unidos	Potsdam, New York	Phillip Hopke	phopke@clarkson.edu
Clean Cookstoves Development and Testing Center	Nigeria	Afikpo	Okechukwu Ugwu	okey@iceednigeria.org
Colorado State University	Estados Unidos	Fort Collins, Colorado	John Mizia	john.mizia@colostate.edu
Council for Scientific and Industrial Research (CSIR)	Ghana	Accra	Gabriel Nii Laryea	gabniilar@yahoo.com

Nombre	País	Ubicación	Contacto	Email
Dili Institute of Technology (DIT)	Timor-Leste	Dili	Lidio Inacio Freitas	if_lidio@yahoo.com
GERES Biomass Energy Lab (G-BEL)	Cambodia	Phnom Penh	Guillaume Monceaux	g.monceaux@geres.eu
GIZ /EnDev Mozambique	Mozambique	-	Rosario Loayza Cortez	rosario.loayza@giz.de
GIZ Ethiopia	Etiopía	-	Alemayehu Zeleke	alemayehu.zeleke@giz.de
Indian Institute of Technology-Delhi (IIT-Delhi)	India	Nueva Delhi	Rajendra Prasad	rprasadiitd@gmail.com
Institute of Heating Technology and Industrial Ecology	Mongolia	Ulaanbaatar	B. Jargalsaikhan	jagaa.iteie@gmail.com
Iowa State University	Estados Unidos	Ames, Iowa	Mark Bryden	kmbryden@iastate.edu
Kenya Industrial Research and Development Institute (KIRDI) Stove Testing Centre	Kenia	Nairobi	Nathan Bogonko	nbogonko@gmail.com
Laboratorio de Certificación de Cocinas Mejoradas (SENCICO)	Perú	Lima	Maria Mercedes Vilcapoma Sarmiento	mvilcapoma@sencico.gob.pe
Laboratorios Ministerio de Energía y Minas de Guatemala	Guatemala	Ciudad de Guatemala	Mayra Villatoro	jefelab@mem.gob.gt
Lawrence Berkeley National Laboratory	Estados Unidos	Berkeley, California	Ashok Gadgil	gadgil@ce.berkeley.edu

Nombre	País	Ubicación	Contacto	Email
Nelson Mandela African Institute of Science and Technology	Tanzania	Arusha	K.N. Njau	karoli.njau@nm-ist.ac.tz
Nyabyeya Forestry College	Uganda	Masindi	Jackson Mutegeki	jmutegeki@gmail.com
Renewable Energy Testing Station	Nepal	Kathmandu	Roshan Parajuli	roshan@retsnepal.org
SNV Netherlands Development Organisation	República Democrática del Congo	Kinshasa	Xavier Castellvi	xcastellvi@snnworld.org
Solar Cookers International	Estados Unidos	Sacramento, California	Julie Greene	info@solarcookers.org
Stove Testing Center	Bolivia	La Paz	Marcelo Gorrity	mgorrity@gmail.com
Sustainable energy Technology and Research Centre (SeTAR)	Sur África	Johannesburg	Harold Annegarn	hannegarn@gmail.com
Technology Consultancy Centre, Kwame Nkrumah University of Science and Technology (KNUST)	Ghana	Kumasi	Michael Kweku Commeh	kwekumichael@gmail.com
The Centre for Study and Research on Renewable Energy (CERER)	Senegal	Dakar	Issakha Youm	iyoum2@yahoo.fr
The Energy and Resources Institute (TERI)	India	Nueva Delhi	Perumal Raman	praman@teri.res.in

Nombre	País	Ubicación	Contacto	Email
U.S. Environmental Protection Agency	Estados Unidos	Research Triangle Park, North Carolina	Jim Jetter	jetter.jim@epa.gov
Universidad Nacional Autonoma de Mexico, (UNAM), Laboratorio de Estufas Mejoradas (LEM-CiEco)	México	Morelia, Michoacán	Víctor Ruiz	victor_ruizgarcia@yahoo.com
University of Illinois, Urbana Champaign	Estados Unidos	Urbana Champaign, Illinois	Tami Bond	yark@illinois.edu
University of Nairobi	Kenia	Nairobi	Jacob Kithinji Peters	jacobkithinji@yahoo.com
University of Nigeria	Nigeria	Nsukka	Cosmos Anyanwu	cnasofia@gmail.com
University of the Philippines Diliman	Filipinas	Quezon City	Mylene G. Cayetano	mbgonzaga@gmail.com
University of Washington Clean Cookstoves Lab	Estados Unidos	Seattle, Washington	Devin Udesen	devinu92@uw.edu
Zamorano University Improved Stove Certification Center	Honduras	Tegucigalpa	Victoria Alejandra Cortes Matamoros	vcortes@zamorano.edu

Capítulo 2.
Fundamentos de las Evaluaciones a las Estufas
Ecológicas

Tabla de contenido

Capítulo 2. Fundamentos de las Evaluaciones a las Estufas Ecológicas 48

2.1 Conceptos básicos.	48
2.2 Importancia de los Métodos y Métricas de Evaluación en las Estufas Ecológicas.	50
2.3 Propósitos de los Sistemas de Monitoreo para la Evaluación de estufas.	51
2.3.1 LEMS – Laboratory Emissions Monitoring System.	51
2.3.2 SUMS – Stove Use Monitoring System.	51
2.3.2.1 Capacidades e Instalaciones de evaluación.	52
2.3.2.2 Métricas de desempeño adicionales y medidas.	52
2.3.2.3 Calidad de los datos.	53
2.4 Protocolos Internacionales de Evaluación.	54
2.4.1 Prueba de ebullición de agua (Water Boiling Test, WBT).	56
2.4.1.1 Interpretación y Análisis de Resultados	58
2.4.1.2 Preparación para la Prueba de Ebullición de Agua (WBT)	62
2.4.1.3 Cálculo de las Métricas de Desempeño de WBT	66
2.4.1.4 Medición de Emisiones	84
2.4.1.5 Recolección de datos	86
2.4.1.6 Mediciones contaminantes	86
2.4.1.7 Adquisición de datos	88
2.4.2 Prueba de Cocinado Controlado (CCT)	88
2.4.2.1 Procedimiento de CCT	90
2.4.2.2 Análisis de CCT	93
2.4.3 Prueba de Desempeño de Cocina (KPT)	96
2.4.4 Prueba de Cocinado No Controlado (UCT)	96
2.4.5 Protocolo de Evaluación de Desempeño y Emisiones para fabricantes de estufas (Stove Manufacturers Emissions & Performance Test Protocol, EPTP).	97
2.5 Equipamiento y Materiales.	101
CONCLUSIONES	103
Bibliografía	104

Capítulo 2. Fundamentos de las Evaluaciones a las Estufas Ecológicas

Los laboratorios dedicados a las evaluaciones de estufas hacen uso de instrumentos para el registro de mediciones. Es necesario hacer una separación de conceptos ya que un laboratorio representa la localidad o espacio dedicado bajo condiciones controladas, mientras que los instrumentos son las herramientas con las cuales las mediciones son registradas de forma manual e independiente, o integradas en un sistema con diversos niveles de autonomía en un proceso sistemático de recolección y procesamiento de datos que genere o permita concluir información útil para la toma de decisiones. El nivel de autonomía parte no solo de los objetivos de las evaluaciones, sino de la infraestructura existente.

De igual manera es importante la definición de las directrices que se deben de cumplir, donde los expertos en el área indican los cálculos y pasos a seguir que indique el camino a seguir para el correcto empleo de dispositivos y sistemas en la provisión de datos que generen información confiable, de alta calidad, y que permitan la comparación entre los objetos de estudio o su desempeño en sitio, en este caso, las estufas. Para satisfacer este requerimiento existen los protocolos internacionales establecidos por los miembros de la Alianza Global de Estufas Ecológicas orientadas hacia sus aplicaciones en laboratorio, así como las que se llevan a cabo en campo.

2.1 Conceptos básicos.

Monitoreo – Monitoreo es un término no incluido en el diccionario de la Real Academia Española. Su origen se encuentra en “monitor”. Un aparato que toma imágenes de instalaciones filmadoras o sensores y que permite visualizar algo en pantalla. El monitor, por lo tanto, ayuda a controlar o supervisar una situación. Esto nos permite inferir que “monitoreo” es la acción y efecto de monitorear, el verbo que

se utiliza para nombrar la supervisión o el control realizado a través de un monitor [1].

Sistema – de acuerdo a la Real Academia Española, una de sus definiciones, conceptualiza este término como “el conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a un determinado objeto”.

Protocolo – de acuerdo a la Real Academia Española, una de sus definiciones, conceptualiza este término como “Secuencia detallada de un proceso de actuación científica, técnica, médica, etc.” [2].

De acuerdo a la Alianza Global de Estufas Ecológicas, las pruebas basadas en Laboratorio evalúan el desempeño y calidad de las estufas en configuraciones controladas con repetibilidad, permitiendo la diferenciación entre estufas. Mientras que las pruebas basadas en Campo demuestran cómo se desempeñan las estufas con cocineros, prácticas y combustibles locales [3].

Actualmente, el Instituto en Investigación e Innovación en Energías Renovables (IIER) en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, cuenta con un laboratorio para la evaluación de estufas, diseñado y construido por Oscar Martínez Aguirre, egresado del mismo instituto (antes Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables), el cual manifiesta contemplar todo el equipamiento necesario para realizar una evaluación y caracterizaciones bajo “condiciones reales” y extremas de operación [4].

Por lo que, para los fines de este estudio, el Sistema de Monitoreo para la Evaluación de Estufas Ecológicas se refiere al conjunto de instrumentos capaces de registrar una medición que al ser comunicados a un monitoreo de manera simultánea habiliten, de la misma forma, el registro de datos (sin intervención humana) y la visualización de la aparición de estos en tiempo real. Y una vez concluido el escenario de evaluación, genere información de mayor precisión

haciendo uso de la instrumentación existente en el Laboratorio de Estufas existente en el IIER.

Los protocolos a seguir son los definidos por “The Global Alliance for Clean Cookstoves” y sus miembros en específico los basados en laboratorio.

2.2 Importancia de los Métodos y Métricas de Evaluación en las Estufas Ecológicas.

En la revista científica “Environmental Science & Technology”, la cual es publicada desde 1967 por la American Chemical Society, se publican investigaciones originales en ciencias medioambientales, así como revisiones globales y críticas. Esta revista publicó el 27 de agosto de 2012 el artículo “Pollutant Emissions and Energy Efficiency under Controlled Conditions for Household Biomass Cookstoves and Implications for Metrics Useful in Setting International Standards” (Emisiones Contaminantes y Eficiencia de la Energía bajo Condiciones Controladas para Estufas Domésticas de Biomasa e Implicaciones para Métricas Útiles en Establecer Estándares Internacionales de Evaluación). En dicho artículo se establece lo siguiente:

“Son necesarios métricas realistas y métodos para evaluar estufas domésticas de biomasa que permiten desarrollar estándares necesarios por los realizadores de políticas internacionales, donantes, e inversionistas. La aplicación de prácticas de evaluación consistentes permite el desempeño de emisiones y eficiencia de la energía sean referenciados y habilita comparación significativa entre tipos de estufas avanzadas y tradicionales”.

“Los estándares desarrollados son requeridos para que los gobiernos informantes, donantes, e inversionistas interesados en promover y apoyar sólo estufas de alta calidad, mejorando comparaciones entre combustibles y estufas operando bajo tareas pertinentes, eficiencia de energía, y variables de evaluación relacionadas con

la combustión y el desarrollo de procedimientos de certificación, puntos de referencia de rendimiento, e infraestructura de evaluación significativa para el mercado global de estufas” [5].

2.3 Propósitos de los Sistemas de Monitoreo para la Evaluación de estufas.

A continuación, se muestran los propósitos que persiguen los sistemas de monitoreo más representativos hasta 2018 implementados en los laboratorios de evaluación de estufas en listados en la Alianza Global de Estufas Ecológicas.

2.3.1 LEMS – Laboratory Emissions Monitoring System.

El LEMS tiene como propósito cuantificar las reducciones en emisiones dañinas a la salud de las estufas de cocinada mediante la recolección, medición, y análisis de emisiones de CO₂, CO, y PM. Se pueden realizar complementos adicionales para medir otros gases. Recolectar las emisiones es importante para cuantificar la cantidad total de contaminación liberada sin efectos de la ventilación y dilución dentro del aire de una cocina. La eficiencia de la combustión de la estufa puede ser entendido al investigar las medidas reportadas tales como emisiones por tarea completada (emisiones específicas) y emisiones por kilo o combustible quemado (factores de emisión) [6].

2.3.2 SUMS – Stove Use Monitoring System.

Como se mostró en el Capítulo 1, este sistema de monitoreo está basado en registradores de temperatura de bajo costo acoplados con el software propietario PICA de Berkeley Air Monitoring Group ó el visor OneWire de administración de instrumentos. El propósito de SUMS es permitir a los desarrolladores, investigadores, y evaluadores de programas a comprender mejor el uso y adopción

de las estufas, para ayudar a enlazar pruebas de laboratorio con el desempeño en campo actual, y para proveer datos accionables que respondan a necesidades domésticas y preferencias respecto tecnologías de cocinado nuevas y tradicionales [7].

Los servicios de pruebas en laboratorio de Berkeley Air provee datos independientes, en tiempo y desempeño exacto en estufas, combustibles y electrodomésticos utilizados en el mundo desarrollado [8].

2.3.2.1 Capacidades e Instalaciones de evaluación.

- Evaluación para todas las métricas ISO IWA 11.2012, incluyendo:
- Emisiones totales de PM2.5 y CO
- Emisiones internas de PM2.5 y CO
- Uso de combustible/eficiencia (eficiencia térmica de alto poder y consumo específico de bajo poder)
- Seguridad

2.3.2.2 Métricas de desempeño adicionales y medidas.

- Durabilidad
- Carbón orgánico y negro
- Partículas ultra finas y distribución del tamaño de la partícula
- Hidrocarburos, incluyendo metano y otras especies de emisiones, según se desee.
- Energía del combustible y consumo

Los protocolos de evaluación incluyen la Prueba de Ebullición del Agua (WBT) ó EPTP, prueba de barrido de potencia de fuego, o personalizado como se desee.

Las evaluaciones son conducidas en instalaciones de evaluación de estufas en estado del arte en la Universidad del Estado de Colorado, a través del Centro de

Energía y Salud del Hogar. Todos los evaluadores han sido completamente entrenados y se adhieren a una calidad estricta y lineamientos de confidencialidad [8].

2.3.2.3 Calidad de los datos.

Los datos son recolectados utilizando instrumentación rastreada de alta calidad y procedimientos de control de calidad riguroso. Características clave incluyen:

- Sistema gravimétrico para la recolección de materia particulada con una resolución capaz de distinguir el desempeño en los niveles más altos.
- Revisiones de calibración diaria de los sensores de gas y básculas.

En cuanto a Trabajo en Campo, Berkeley Air tiene amplia experiencia en organizar y llevar a cabo el trabajo de campo necesario para el monitoreo de contaminación de aire interno y energía doméstica [9].

- Sus servicios de trabajo en campo incluyen:
- Monitoreo de reducciones de emisiones de carbono.
- Pruebas de Desempeño en Cocina (KPT en inglés) para ahorro de combustible.
- Pruebas de Cocinado Controlado (CCT en inglés) para rápido desempeño en campo preliminar.
- Monitoreo de contaminación del aire interno, incluyendo exposición personal.
- Adopción de tecnología y monitoreo de su uso.
- Encuestas socioeconómicas para resultados sociales.
- Usabilidad de tecnología y encuestas de preferencias.

2.4 Protocolos Internacionales de Evaluación.

La prueba de Ebullición de agua se puede realizar en distintas partes del mundo utilizando equipo sencillo. Si se desea medir emisiones, se necesita equipo más complejo. Los principales beneficios son los siguientes:

- Proveer asesoría inicial o de laboratorio del desempeño de una estufa en un ambiente controlado.
- Comparar la efectividad de cada modelo al desarrollar tareas similares de cocción.
- Evaluar cambios en las estufas durante su desarrollo.
- Seleccionar los productos más prometedores en cuanto a evaluaciones en campo.
- Asegurar que las estufas fabricadas cumplan con el desempeño basado en el diseño.

Todas las pruebas estandarizadas implican compensaciones. Cuando las condiciones son altamente controladas y la variabilidad se reduce, una prueba es más capaz de detectar cambios pequeños. Sin embargo, una prueba más controlada es a menudo menos representativa del proceso de cocción real. Las pruebas controladas son adecuadas para comparar los diversos aspectos técnicos del diseño de la estufa y las evaluaciones de desempeño previas en campo. Mientras que las pruebas basadas en laboratorio permiten diferenciar las estufas, las pruebas basadas en campo dan un mejor indicador del rendimiento durante el uso real.

La prueba de ebullición de agua fue desarrollada para evaluar la actuación de la estufa en una forma controlada, y por lo tanto es probable que no se parezca a las costumbres de cocción locales como otras pruebas descritas. Aunque el WBT es una herramienta útil por las razones expuestas anteriormente, es importante tener en cuenta sus limitaciones. Es una aproximación del proceso de cocción y se lleva

a cabo en condiciones controladas por técnicos capacitados. Los resultados de las pruebas de laboratorio pueden diferir de los resultados obtenidos al cocinar los alimentos reales con los combustibles locales, incluso si la eficiencia y las emisiones se midieron exactamente de la misma manera para ambas pruebas. Para confirmar los efectos deseados (si se trata de la conservación de combustible, reducción de humo, u otros impactos), las estufas deben ser evaluadas en condiciones reales de uso.

Para entender cómo funcionan las estufas con alimentos locales, prácticas de cocina y combustibles, los evaluadores de estufas pueden utilizar la Prueba de Cocción Controlada (CCT) que se ha desarrollado en paralelo con el WBT. El CCT es todavía una prueba de laboratorio, pero se lleva a cabo mediante la preparación de una versión normalizada de la comida local. La prueba de cocción No Controlada (UCT), se lleva a cabo en el campo, durante la cual los cocineros eligen cualquier comida que quieren, operan la estufa de manera que sientan la más apropiada y usando ollas aptas para las tareas de cocción. Una prueba de Rendimiento de Cocina (KPT), que compara el consumo de combustible en los hogares utilizando la estufa mejorada en los hogares con una estufa tradicional, debe llevarse a cabo para evaluar los cambios en el consumo de combustible entre la estufa y los usuarios. Esta prueba de campo consta de dos estudios cualitativos: la primera ayuda a los ejecutores (proyectistas, fabricantes, distribuidores o inversionistas) a evaluar el comportamiento de los hogares para cocinar y las prácticas antes de la introducción de una nueva estufa y el otro proporciona datos de seguimiento de 3-6 meses después de que la estufa se ha introducido en un hogar. El KPT también incluye un procedimiento para comparar el consumo de combustible en los hogares que utilizan diferentes tipos de estufas. Las pruebas de campo son también importantes para la demostración de los resultados para los créditos de carbono y la estimación de las contribuciones de emisiones de gases de efecto invernadero o contaminación del aire.

Las pruebas de campo son fundamentales para justificar las afirmaciones sobre los impactos reales sobre el consumo de combustible, emisiones de gases de efecto invernadero o la contaminación del aire resultante de las estufas [10].

2.4.1 Prueba de ebullición de agua (Water Boiling Test, WBT).

La eficiencia del combustible es un factor principal para los programas de estufas. Ahora sabemos que los contaminantes atmosféricos emitidos por el uso de combustibles sólidos tienen muchas repercusiones sanitarias y medioambientales. Este documento contiene las instrucciones para la medición de los contaminantes emitidos por la estufa durante la cocción, pero estos pasos pueden omitirse para quienes no tienen el equipo necesario. La eficiencia y emisiones deben ser evaluadas con el mismo protocolo, debido a que los cambios en la operación y diseño de la estufa afectan a ambas.

Mientras que el consumo de combustible es una medida relativamente simple, la determinación de las mediciones de contaminantes es significativamente más complicada. Además de las directrices para la medición de la eficiencia de combustible, el WBT también proporciona directrices para medir los contaminantes y la obtención de medidas de rendimiento de la estufa. Combinando estas mediciones con las mediciones de eficiencia, podemos determinar un parámetro útil: Emisiones por tarea. Las medidas de emisiones del WBT: no son a lo que las personas están expuestas, sino que son los contaminantes que salen de la estufa. Esta es una forma más directa de comparar dos estufas que la concentración en el aire interior. Otras organizaciones han desarrollado protocolos importantes para determinar las exposiciones interiores. Los modelos computacionales también se han desarrollado para estimar las concentraciones de aire en el interior sobre la base de las emisiones de la estufa y otros parámetros.

La prueba de ebullición es una prueba de simulación de cocinado donde el agua toma el lugar de los alimentos. A partir de esta prueba se calcula el índice de

eficiencia térmica (nt) también llamado porcentaje de calor utilizado (PHU), el cual se utiliza como indicador de eficiencia de la estufa. La prueba tiene tres etapas [10]:

- a) Alto poder – inicio en frío: se inicia con la estufa y, utilizando una cantidad conocida de leña, se pone a hervir agua en una olla de tamaño determinado verificando el tiempo y la cantidad de leña consumida para esta tarea.
- b) Alto poder – inicio en caliente: se coloca la olla con la misma cantidad de agua a temperatura ambiente y, con la estufa caliente, se pone a hervir el agua contabilizando el tiempo y el combustible utilizado. Estas dos fases son para identificar diferencias en funcionamiento entre una estufa cuando está fría y cuando está caliente.
- c) Bajo poder – fuego lento: consiste en mantener (con la estufa caliente) una misma cantidad de agua durante 45 minutos a una temperatura 3 grados por debajo del punto de ebullición, simulando una tarea de cocinado a fuego lento.

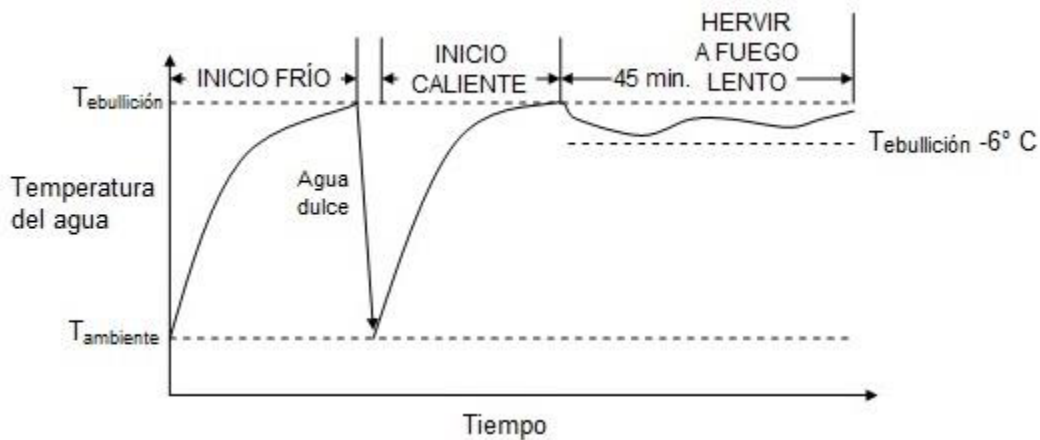


Figura 1 Temperatura durante las tres fases de la prueba de ebullición. Fuente: Nordica MacCarty

Una prueba de estufa completa debe incluir siempre las tres fases de la prueba. Una prueba rápida para el uso interno de un laboratorio puede incluir sólo el arranque en frío y cocinar a fuego lento si la estufa tiene poca masa (sin cerámica)

y pruebas de ebullición anteriores han demostrado que las fases de arranque en frío y de arranque en caliente producen los mismos resultados.

2.4.1.1 Interpretación y Análisis de Resultados

En esta sección se interpretan las métricas de desempeño de las estufas producidas por la Prueba de Ebullición del Agua (WBT).

Los cálculos de estas medidas se realizan de acuerdo con las ecuaciones en las ecuaciones mostradas más adelante.

Cada una de estas métricas es valiosa, y depende de cada programa de estufas determinar cuáles métricas son las más importantes para su programa.

Las medidas que las mayorías de los programas utilizan se resumen aquí [10]:

- *Características de la estufa*: tasa de combustión, potencia de fuego, relación de disminución
- *Medidas de Eficiencia y Desempeño*: tiempo para hervir, consumo de combustible específico, eficiencia térmica.
- *Medidas de Emisión*: emisiones por combustible quemado, emisiones por MegaJoule, emisiones por tarea.

Es necesario tomar algunas precauciones. Los resultados de las pruebas de alta potencia y de baja potencia pueden variar enormemente. Las estufas a menudo se desempeñan bien en las pruebas de alta potencia y pobremente en las pruebas de baja potencia o viceversa. Los evaluadores deben examinar los resultados de ambos tipos de evaluaciones que confiar en los totales.

Aunque algunas de las métricas son normalizadas a la cantidad de agua hervida, las comparaciones de las estufas de diferentes tamaños deben ser hechas con cuidado.

Los reportes de las fases individuales (arranque en frío alta potencia, arranque en caliente alta potencia, y hervir a fuego lento) pueden ser más altas que el total general. Esto es especialmente cierto debido a que el evaluador no pesa las cenizas de carbón después de la evaluación de arranque en caliente, entonces las estimaciones del combustible utilizado durante las evaluaciones de arranque en caliente y la ebullición a fuego lento no son exactas.

Gracias a los resultados es posible definir características de las estufas como lo son [10]:

Tasa de combustión – Una medida del promedio de gramos de madera quemada por minuto durante la evaluación. Cuando se compara entre pruebas, esto muestra qué tan consistentemente el usuario estuvo operando la estufa. Cuando se compara entre estufas, esta medida indica qué tan rápidamente la estufa consume combustible.

Potencia de fuego – La potencia de fuego es una medida que indica qué tan rápidamente el combustible se estuvo quemando, reportado en Watts (Joules por segundo). Es afectado por ambas la estufa (tamaño de la cámara de combustión/entrada del combustible) y la operación del usuario (tasa de alimentación del combustible). Generalmente es una medida útil de la salida de calor de la estufa, y un indicador de qué tan consistentemente el operador utilizó la estufa en múltiples pruebas. Un valor más alto o más bajo no es necesariamente preferible, más bien es un indicador del tamaño de la estufa.

Relación de disminución – Indica qué tanto el usuario ajustó el calor entre las fases de alta potencia y baja potencia. Un valor más alto indica una tasa más alta de alta

potencia a baja potencia, y puede señalar un rango más grande de control de potencia en la estufa. Como sea, este valor refleja sólo la cantidad de control de potencia que fue usado actualmente.

Las métricas de Eficiencia y Desempeño de las estufas se expresan a través de [10]:

Tiempo para hervir – El tiempo que le tomó a la olla #1 alcanzar la temperatura de ebullición desde la temperatura inicial.

Tiempo de temperatura corregida para hervir – El tiempo que le toma a la olla #1 alcanzar la temperatura de ebullición, corregida para reflejar un alza de temperatura de 75°C para comenzar a hervir. Esta medida puede ser comparada a lo largo de evaluaciones y pruebas para determinar la velocidad de la estufa en alta potencia, a menudo un factor importante para los cocineros.

Eficiencia térmica (Métrica IWA para alta potencia) – La eficiencia térmica es una medida de la fracción del calor producido por el combustible que logró llegar directamente al agua de la olla. La energía remanente es perdida en el ambiente, Entonces una eficiencia térmica más alta indica una habilidad más grande de transferir el calor producido al interior de la olla. Mientras la eficiencia térmica es una medida bien conocida del desempeño de la estufa, un mejor indicador puede ser el consumo específico, especialmente durante la fase de baja potencia del WBT. Esto es porque una estufa que es muy lenta para hervir puede tener una buena apariencia de Eficiencia Térmica debido a que una gran cantidad de agua fue evaporada y llevó mucho tiempo mientras se traía la olla para hervir.

Consumo de combustible específico – Esta es una medida de la cantidad de combustible requerida para hervir (o hervir lentamente) 1 litro de agua. Es calculado por el combustible seco equivalente utilizado menos la energía en la braza remanente, dividida por los litros de agua remanentes al final de la prueba. De esta

forma el combustible utilizado produce un litro útil de “comida” y esencialmente el tiempo tomado para hacerlo es contabilizado.

El consumo de combustible específico está enlistado como la Métrica IWA para baja potencia, la cual es reportada en MJ/(min/L).

Temperatura Corregida del Consumo de Combustible Específico – Es la misma medida que la anterior, pero reportada como energía (kilojoules) en lugar de combustible (gramos). Esto permite una comparación directa entre diferentes combustibles, tales como varios tipos de madera, carbón, estiércol, etc.

Valores de Referencia – Los valores de referencia combinan las fases de arranque en frío, arranque en caliente, y ebullición lenta en un valor para la prueba en general. Este es el promedio de la temperatura corregida de consumo específico (o emisión) en arranque frío y caliente, agregado a la ebullición en lento. Teniendo un valor general para revisar puede ser útil al comparar un gran número de diseños de estufas.

En relación con las medidas de emisiones, estas métricas pueden ser utilizadas para CO, CO₂, PM, u otras especies. A través de diferentes métricas de emisión, las emisiones son reportadas como masa en una base seca equivalente. Si las partículas ultra finas (partículas menores a 100 nm) son medidas, este resultado puede ser reportado como número de partículas [10].

Emisiones por MJ entregadas a la olla (Métrica IWA para total de Emisiones de alta potencia, CO y PM) – Esta métrica preferible para fases de alta potencia porque reporta emisiones en términos de la salida deseada, energía de cocción y permite comparaciones entre estufas y combustibles. La energía de cocción entregada a la olla es medida como el calor sensible que elevó la temperatura del agua de la olla y el calor latente ha producido calor.

Tasa de emisiones (emisiones por tiempo) (Métrica IWA para emisiones internas, CO, y PM) – Esta métrica especifica la masa emitida sobre la duración de una fase. La tasa de emisión general para determinar el nivel IWA está basado en cualquiera que sea mayor de la tasa de emisiones de CO de alta potencia o baja potencia. La tasa de emisiones de alta potencia es el promedio de las fases de arranque en caliente y arranque en frío.

Tasa de emisión específica (Emisiones por tiempo por litro de agua) (Métrica IWA para Emisiones Totales de Baja Potencia, CO y PM) – Esta métrica es preferible para la fase de baja potencia debido a la dificultad en calcular la energía de cocción entregada a la olla debido al tiempo limitado o calor sensible no medido (relativamente temperaturas de agua constantes) y variación en calor latente medido (producción de calor altamente variable).

Emisiones por tarea y emisiones por peso de combustible quemado – Estas son reportadas a menudo, como sea estas métricas tienen menor comparabilidad entre estufas diferentes [10].

2.4.1.2 Preparación para la Prueba de Ebullición de Agua (WBT)

Se presenta la guía para la configuración inicial del equipamiento para la WBT. También discute dos métodos necesarios para realizar el WBT. el punto de ebullición local y el contenido de humedad del combustible [11].

Para sostener el termopar en la olla, en el diagrama siguiente muestra un soporte de sonda de madera para mantener la sonda termopar en la olla. Las dimensiones no son críticas, pero el soporte de la sonda debe estar hecho de manera que la sonda termopar quepa ajustadamente en él, y el soporte de la sonda se ajuste seguramente sobre la olla [11].

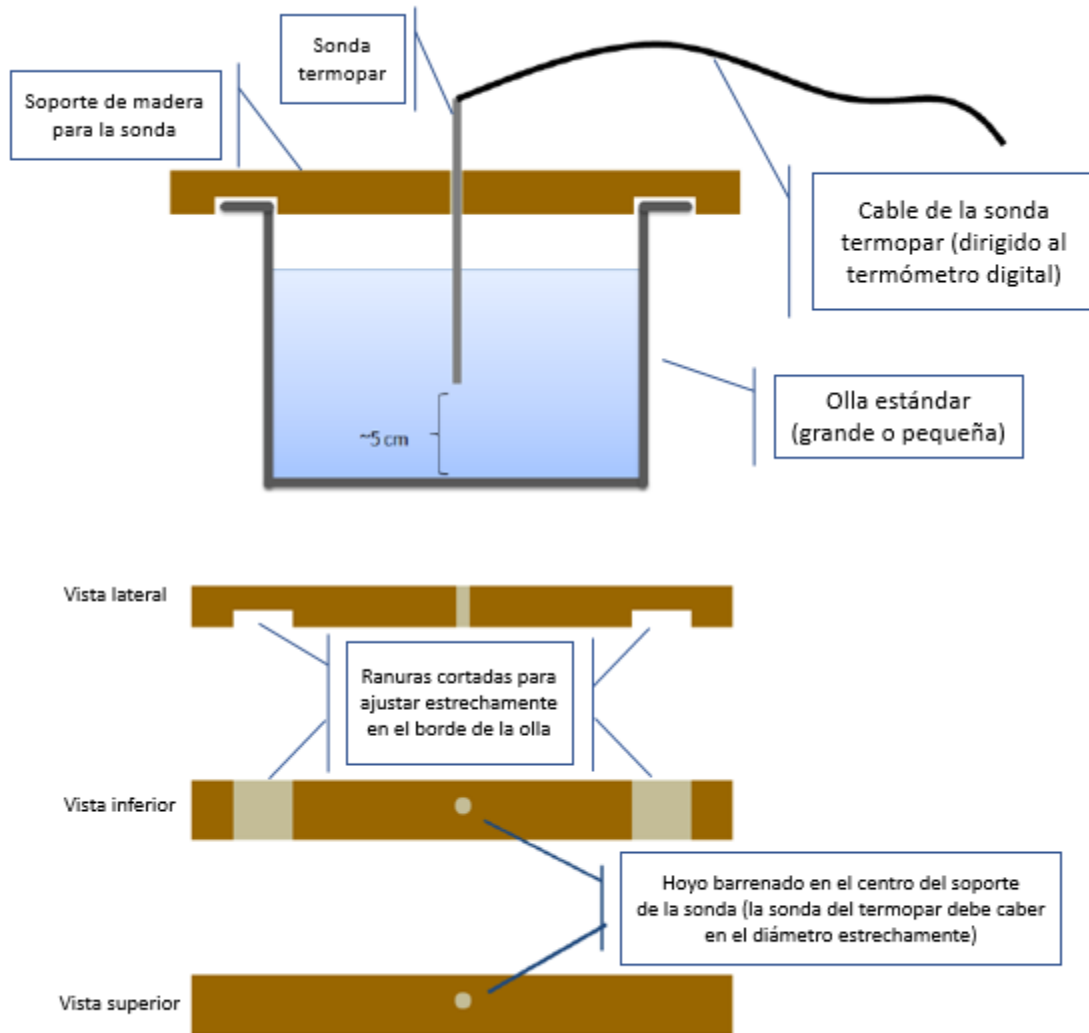


Figura 2 Colocación del termopar sobre olla. Fuente: Water Boiling Test Protocol

El punto de ebullición local del agua es el punto al cual la temperatura no se eleva más, no importa cuánto calor se aplique. La temperatura de ebullición local es influenciada por varios factores incluyendo altitud, inexactitudes menores en el termómetro, y condiciones del tiempo. Por estas razones, la temperatura de ebullición local no puede ser asumida de 100 °C. Para una altitud “h” dada (en metros) el punto de ebullición del agua puede estimarse por la siguiente fórmula [11]:

$$T_b = \left(100 - \frac{h}{300}\right)^\circ\text{C}$$

Como sea, es mejor determinar el punto de ebullición local empíricamente utilizando el siguiente procedimiento [11].

- 1) Escoger si se va a utilizar una olla estándar grande o pequeña. Medir 5 litros de agua para la olla estándar grande (o 2.5 litros de agua para la olla estándar pequeña). Llevarlo a la ebullición. Asegurarse de que la potencia de la estufa es alta y el agua está hirviendo.
- 2) Utilizar el mismo termómetro que será utilizado para evaluar, medir la temperatura del agua cuando el termómetro esté posicionado en el centro, 5 cm por encima del fondo de la olla. Podrás encontrar que incluso en ebullición completa, cuando la temperatura no aumenta más, todavía oscilará varias décimas de un grado por encima y debajo del actual punto de ebullición.
- 3) Registrar la temperatura por un periodo de 5 minutos en ebullición completa y tenga en cuenta las temperaturas máximas y mínimas observadas durante este periodo. Las temperaturas máximas y mínimas deben entonces ser promediadas. Este resultado será registrado como “la temperatura de ebullición local”.

Para determinar el Contenido de Humedad del Combustible es importante mencionar que el combustible bien seco contiene un 10 – 20 % de agua mientras que leña recién cortada contiene más de 50% de agua por masa (base húmeda) [11].

Existen dos maneras de definir el contenido de humedad del combustible: con base húmeda y con base seca. En lo antiguo, la masa del agua en el combustible es reportado como un porcentaje de masa de combustible húmedo y en el último caso es reportado como un porcentaje de la masa del combustible seco.

Los dos contenidos de humedad están relacionados en la siguiente manera:

$$MC_{húmedo} = \frac{MC_{seco}}{1 + MC_{seco}}$$

La medición del contenido de humedad puede ser hecho de dos maneras [11]:

La manera más precisa es utilizar las ecuaciones listadas arriba pesando una muestra del combustible (Masa de combustible) húmedo seco al aire, y pesándolo de nuevo después de que ha sido completamente seco (Masa de combustible). Toma una pequeña muestra (200 – 300 g) de combustible al azar del inventario de combustible a ser utilizado en las pruebas. Pese la muestra y registre la masa. Seque la muestra en un horno a unos pocos grados por encima de los 100 °C y péselo nuevamente. Esto puede ser realizado en el sitio de evaluación si se encuentra disponible un horno, o la muestra húmeda puede ser pesada en sitio y luego almacenada cuidadosamente y secada después, cuando un horno esté disponible [11].

Para secar la muestra, colocarla en un horno durante la noche y luego removerla y pesar la muestra cada dos horas en una báscula sensible (± 1 g de exactitud) hasta que la masa no disminuya más. La temperatura del horno debe estar cuidadosamente controlada de manera que no exceda los 110 °C (230 °F). Si la leña es expuesta a temperaturas cerca de los 200 °C (390 °F), térmicamente se reducirá y perderá materia que no es agua, provocando medición inexacta del contenido de la humedad [11].

La segunda manera de medir la humedad de la leña es con un medidor de humedad de leña. El dispositivo mide la humedad del combustible en una base seca midiendo la conductividad entre dos sondas afiladas que son insertadas en la madera. Esto es más conveniente que el secado en el horno porque la medida puede ser rápidamente hecha en sitio mientras el combustible es preparado. Las sondas pueden ser insertadas paralelas al grano de la leña. El dispositivo puede ser ajustado para diferentes especies y calibradas para diferentes temperaturas ambiente. Puede medir entre el 6% y el 35 – 40 % de humedad (base seca). Si la muestra de la leña está más húmeda que el rango superior de medición, se mostrará un error. La humedad de la leña puede variar en una pieza dada de leña, así como

entre diferentes piezas de un bulto dado. Al realizar la medición, tome tres piezas de leña al azar del bulto y mida cada pieza en tres lugares. Esto rinde nueve medidas en general. La humedad del bulto debe ser reportada como el promedio de estas nueve mediciones. Convertir este promedio a base húmeda utilizando la fórmula [11].

2.4.1.3 Métricas de Desempeño de WBT

El WBT consiste en tres fases:

- Una fase de Alta Potencia con Arranque en Frío.
- Una fase de Alta Potencia con Arranque en Caliente.
- Y una fase de Baja Potencia (ebullición lenta).

Cada fase involucra una serie de medidas y cálculos. Las fórmulas para realizar cálculos en la prueba de una olla son descritas a continuación [11].

Variables que son constantes a través de las tres fases:

<i>HHV</i>	Valor calorífico bruto (madera seca) (kJ / kg)
<i>LHV</i>	Valor calorífico neto (madera seca) (kJ / kg)
<i>MC</i>	Contenido de humedad de la madera (% - base húmeda)
<i>EHV</i>	Valor calorífico efectivo (teniendo en cuenta el contenido de humedad de la madera)
<i>LHVcarbón</i>	Valor calorífico neto de carbón (kJ / kg)
<i>P1</i>	Masa seca de olla vacía (gramos)
<i>K</i>	Peso del contenedor vacío para ceniza (gramos)
<i>T_a</i>	Temperatura ambiente (°C)
<i>T_b</i>	Punto de ebullición local del agua (° C)
<i>fuelFracC</i>	Fracción de carbono combustible (%)
<i>charFracC</i>	Fracción de ceniza combustible ó braza (%)

Variables de emisión:

P_{atm}	Presión atmosférica (kPa)
Q	Velocidad de flujo de la campana (m ³ / h)
CO_{2b}	Concentración de CO ₂ de fondo (ppm)
CO_b	Concentración de CO de fondo (ppm)
PM_b	Concentración de fondo de MP (ug / m ³)

HHV - mayor valor de calentamiento (también llamado valor calorífico bruto). Esta es la cantidad máxima teórica de energía que se puede extraer de la combustión del combustible libre de humedad si se quema por completo y los productos de la combustión se enfrían a temperatura ambiente de manera que el agua producida por la reacción del hidrógeno unido al combustible sea condensada a la fase líquida.

LHV - Menor valor de calentamiento (también llamado valor neto de calentamiento). Esta es la cantidad máxima teórica de energía que se puede extraer de la combustión del combustible sin humedad si se quema completamente y los productos de la combustión se enfrían a temperatura ambiente, pero el agua producida por la reacción del hidrógeno unido al combustible permanece en la fase de gas. Para los combustibles de madera, el LHV típicamente difiere del HHV en 1.32 MJ / kg.

MC - Este es el% de contenido de humedad de la madera sobre una base húmeda, definida por la siguiente fórmula:

$$MC = \frac{m_{combustible.humedo} - m_{combustible.seco}}{m_{combustible.humedo}}$$

MC es una fracción decimal, si se expresa como MC=15%, para los cálculos se utiliza MC=0.15.

EHV - el valor calorífico efectivo del combustible tiene en cuenta la energía requerida para calentar y evaporar la humedad presente en el combustible. EHV no se utiliza en realidad en ningún cálculo de WBT. Se calcula de la siguiente manera:

$$EHV = LHV \cdot (1 - MC_{humedo}) - MC_{humedo} \cdot \Delta h_{H_2O}$$

Donde

$$\Delta h_{H_2O} = \text{cambio en entalpía específica de agua}$$

$P1$ - Este es el peso del bote vacío. Para las estufas de olla múltiple, P es seguido por un número de índice 1 – 4.

K - Este es el peso del contenedor de carbón que se usará para mantener el carbón cuando sea retirado de la estufa y pesado.

T_b - Este es el punto de ebullición local del agua, que debe determinarse empíricamente para poder contabilizar variaciones como resultado de la altitud.

P_{atm} - Esta es la presión atmosférica.

Q - Este es el caudal en el conducto del sistema de campana de recogida de emisiones.

T_d - Esta es la temperatura de la muestra de emisión.

$CO2_b$ - Esta es la concentración media de CO2 de fondo que debe tomarse antes de la prueba que será restada de la concentración promedio medida durante la prueba.

CO_b - Esta es la concentración media de CO de fondo que debe tomarse antes de la prueba que se restará de la concentración promedio medida durante la prueba.

PM_b - esta es la concentración media de fondo de MP que debe tomarse antes de la prueba que será restada de la concentración promedio medida durante la prueba.

VARIABLES PARA LA FASE DE ALTO PODER (ARRANQUE EN FRÍO)

Variables que son medidas directamente:

F_{ci}	Masa de combustible antes de la prueba (gramos)
$P1_{ci}$	Masa de olla de agua antes de la prueba (gramos)
$T1_{ci}$	Temperatura del agua al inicio de la prueba (°C)
$t_{c, i}$	Tiempo al inicio de la prueba (min)
f_{cf}	Masa de combustible después de la prueba (gramos)
C_c	Masa de ceniza o braza con plato después de la prueba (gramos)
$P1_{cf}$	Masa de olla de agua después de la prueba (gramos)

$T1_{cf}$	Temperatura del agua al final de la prueba (°C)
t_{cf}	Tiempo al final de la prueba (min)

Variables que son calculadas:

f_{cm}	Combustible consumido, húmedo (gramos)
ΔC_c	Cambio en carbonización durante la prueba (gramos)
f_{cd}	Madera seca equivalente consumida (gramos)
W_{cv}	Agua vaporizada (gramos)
W_{cr}	Masa efectiva de agua hervida (gramos)
Δt_c	Tiempo de hervir (min)
Δt_c^T	Tiempo de temperatura corregido para hervir (min)
h_c	Eficiencia térmica (%)
r_{cb}	Tasa de quemado (gramos / min)
SC_c	Consumo específico de combustible (gramos de madera / litro de agua)
SC_c^T	Consumo de combustible específico corregido por temperatura (gramos de madera / gramos de agua)
SE_c^T	Consumo de energía específico corregido por temperatura (kJ / litro de agua)
FP_c	Potencia de fuego (W)

Variables de emisión que son medidas directamente:

$CO2_c$	Concentración media de CO2 (ppm)
CO_c	Concentración media de CO (ppm)
PM_c	Promedio de concentración de MP (ug / m3)
T_{cd}	Temperatura media del conducto (°C)

Variables de emisión que se calculan:

V_c	Flujo de escape Total (m3)
CC_c	Concentración de carbono de escape (ppm)
C_c	Carbono total en el escape (g / m3)

f_{ce}	Combustible seco consumido estimado a partir de las emisiones (gramos)
CB_c	Balance de carbono de la campana (%)
$EF_{CO_2, c}$	Factor de emisión de CO ₂ (gramos de emisión / gramos de combustible)
$EF_{CO, c}$	Factor de emisión de CO (gramos de emisión / gramos de combustible)
$EF_{PM, c}$	Factor de emisión de PM (gramos de emisión / gramos de combustible)
$m_{CO_2, c}$	Masa de CO ₂ producida (gramos)
$m_{CO, c}$	Masa de CO producida (gramos)
$m_{PM, c}$	Masa de PM producida (gramos)
$E_{CO_2, c}$	Emisión de CO ₂ por agua hervida (gramos de emisión / litro de agua)
$E_{CO, c}$	Emisión de CO por agua hervida (gramos de emisión / litro de agua)
$E_{PM, c}$	Emisión de PM por agua hervida (gramos de emisión / litro de agua)

f_{cm} - El combustible consumido (húmedo) es la masa de madera utilizada para llevar el agua a ebullición, que se obtiene al tomar la diferencia del paquete de madera previamente pesado y la madera restante al final de la fase de prueba:

$$f_{cm} = f_{ci} - f_{cf}$$

ΔC_c - El cambio neto en braza o ceniza durante la prueba es la masa de carbón creada durante la prueba, que se encuentra al quitar el carbón de la estufa al final de la fase de prueba. Debido a que está muy caliente, el carbón se colocará en un recipiente vacío previamente pesado de masa k (para ser suministrado por los evaluadores) y pesará la braza o ceniza con el recipiente, luego restará la masa del recipiente del total:

$$\Delta C_c = C_c - k$$

W_{cv} - La masa de agua vaporizada es una medida de la pérdida de agua por evaporación durante la prueba. Se calcula restando el peso inicial de la olla y el agua menos el peso final de la olla y el agua.

$$W_{cv} = P1_{ci} - P1_{cf}$$

W_{cr} - La masa efectiva de agua hervida es el agua restante al final de la prueba. Es una medida de la cantidad de agua calentada a ebullición. Se calcula por simple resta del peso final de la olla y el agua menos el peso de la olla.

$$W_{cr} = P1_{cf} - P1$$

Δt_c - El tiempo para hervir el recipiente #1 es la diferencia entre los tiempos de inicio y finalización:

$$\Delta t_c = t_{c,f} - t_{c,i}$$

Δt_c^T - El tiempo corregido de temperatura para hervir el recipiente #1 es el mismo que el anterior, pero ajusta el resultado a un cambio de temperatura estándar de 75 °C (de 25 °C a 100 °C). Este ajuste estandariza los resultados y facilita una comparación entre las pruebas que pueden haber usado agua con temperaturas iniciales más altas o más bajas.

$$\Delta T_c^T = \Delta T_c \cdot \frac{75}{T1_{cf} - T1_{ci}}$$

F_{cd} - El combustible seco equivalente consumido ajusta la cantidad de combustible seco que se quemó para tener en cuenta dos factores: (1) la energía que se necesitaba para eliminar la humedad en el combustible y (2) la cantidad de carbón que queda sin quemar. La masa de combustible seco consumida es el combustible húmedo consumido menos la masa de agua en el combustible.

$$f_{cd} = \frac{f_{cm}(LHV(1 - MC) - MC(4.186(T_b - T_a) + 2,257)) - \Delta C_c \cdot LHV_{char}}{LHV}$$

h_c - Eficiencia térmica: es una relación entre el trabajo realizado al calentar y evaporar agua y la energía consumida por la quema de combustible. Es una estimación de la energía total producida por el fuego que se usa para calentar el agua en la olla. Se calcula de la siguiente manera:

$$h_c = \frac{\Delta E_{H_2O,heat} + \Delta E_{H_2O,evap}}{E_{released,c}}$$

$$h_c = \frac{4.186(T1_{cf} - T1_{ci})(P1_{ci} - P1) + 2260 \cdot W_{cv}}{f_{cd} \cdot LHV}$$

r_{cb} - Tasa de combustión: es una medida de la tasa de consumo de combustible mientras hierve el agua. Se calcula dividiendo el combustible seco equivalente consumido por el tiempo de la prueba:

$$r_{cb} = \frac{f_{cd}}{W_{cr}}$$

SC_c - Consumo específico de combustible: el consumo específico puede definirse para cualquier cantidad de tareas de cocción y debe considerarse "el combustible necesario para producir una unidad de producción" ya sea que la producción sea agua hervida, frijoles cocidos o barras de pan. En el caso del WBT de alta potencia de arranque en frío, es una medida de la cantidad de madera requerida para producir un litro (o kilo) de agua hirviendo comenzando con una estufa fría. Se calcula como:

$$SC_c = \frac{f_{cd}}{W_{cr}}$$

SC_c^T - Consumo específico de combustible con corrección de temperatura: Corrige el consumo específico para tener en cuenta las diferencias en las temperaturas iniciales del agua. Esto facilita la comparación de estufas probadas en diferentes días o en diferentes condiciones ambientales. La corrección es un factor simple que "normaliza" el cambio de temperatura observado en las condiciones de prueba a un cambio de temperatura "estándar" de 75 °C (de 25 a 100). Se calcula de la siguiente manera:

$$SC_c^t = SC_c \cdot \frac{75}{r1_{cf} - r1_{ci}}$$

SE_c^T - Consumo de energía específico corregido por temperatura: similar al consumo de combustible específico corregido por temperatura, esta medida es una medida de la cantidad de energía de combustible requerida para producir un litro (o kilo) de agua hirviendo comenzando con una estufa fría. Es el consumo de combustible específico corregido por temperatura multiplicado por el contenido de energía del combustible:

$$SE_c^t = SC_c^t \cdot \frac{LHV}{1000}$$

FP_c - Potencia de fuego: esta es la energía de combustible consumida para hervir el agua dividida por el tiempo de ebullición. Indica la potencia de salida promedio de la estufa (en vatios) durante la prueba de alta potencia:

$$FP_c = \frac{f_{cd} \cdot LHV}{\Delta t_c 60}$$

V_c - Flujo de escape total: Este es el volumen total de aire que pasa a través de la campana de recolección. Se usa para calcular la cantidad de emisiones que recolecta la campana. En esta versión del WBT, las cantidades de emisión de la estufa se calculan utilizando el método de balance de carbono, y el flujo de escape total no se usa para calcular las cantidades de emisión de la estufa. El flujo de escape total es la tasa de flujo volumétrico a través de la campana multiplicada por el tiempo del período de prueba:

$$V_c = Q \cdot \frac{\Delta t_c}{60}$$

CC_c - Concentración de carbono de escape: esta es la concentración promedio de átomos de carbono en el escape de la estufa que explica los átomos de carbono presentes en el CO₂, CO y PM:

$$CC_c = CO2_{carbon,c} + CO_{carbon,c} + PM_{carbon,c}$$

C_c - Carbono total en el escape: Esta es en realidad la concentración masiva de carbono en el escape. Se calcula utilizando la ley de los gases ideales para convertir la concentración volumétrica de carbono de escape [ppmv] (CC_c calculada anteriormente) en una concentración de masa **[11]**.

$$C_c = \frac{CC_c \cdot 12 \cdot P_{atm} \cdot 10^{-6}}{0.00831 \cdot (T_d + 273.15)}$$

f_{ce} - Consumo de combustible seco estimado a partir de las emisiones: esta es la estimación del consumo de combustible seco basado en la masa total de carbono recogida en la campana de emisión. La masa de carbono total es la concentración de masa multiplicada por el volumen total recolectado. La masa total de carbono se divide por la fracción de combustible y carbono para calcular la masa total de combustible:

$$f_{ce} [g_{fuel}] = \frac{C_c \left[\frac{g_{carbon}}{m^3} \right] \cdot V_c [m^3]}{fuelFracC \left[\frac{g_{carbon}}{g_{fuel}} \right]}$$

CB_c - Equilibrio de carbono de la campana: esta es la relación entre el carbono recolectado en la campana de emisión y el carbono consumido. El balance de

carbono es equivalente a la relación entre el combustible quemado recolectado en la campana de emisión y el combustible consumido:

$$CB_c = \frac{\text{emisión de carbón recolectado}}{\text{carbón total consumido}}$$

$EF_{CO_2, c}$ - Factor de emisión de CO₂: Promedio de gramos de CO₂ emitidos por kilogramo de combustible quemado. Se calcula a partir de la relación entre la concentración de CO₂ y la concentración de carbono:

$$EF_{CO_2, c} = \frac{(CO_{2c} - CO_{2b})}{CC_c} \cdot \frac{44}{12} \cdot \text{fuelFracC} \cdot 1,000$$

$EF_{CO, c}$ - Factor de emisión de CO: Promedio de gramos de CO emitidos por kilogramo de combustible quemado. Se calcula de la misma manera que $EF_{CO_2, c}$ pero en su lugar se usa el peso molecular de CO:

$$EF_{CO, c} = \frac{(CO_c - CO_b)}{CC_c} \cdot \frac{28}{12} \cdot \text{fuelFracC} \cdot 1,000$$

$EF_{PM, c}$ - Factor de emisión PM: Promedio de gramos de PM emitidos por kilogramo de combustible quemado. Se calcula de forma un poco diferente que $EF_{CO_2, c}$ y $EF_{CO, c}$ porque la concentración de PM es una concentración de masa con unidades $\left[\frac{\mu g}{m^3}\right]$ no [ppm_v].

$$EF_{PM, c} = \frac{(PM_c - PM_b) \cdot \text{fuelFracC} \cdot 1,000}{C_c \cdot 1,000,000}$$

$m_{CO_2, c}$ - Masa de CO₂ producida: Esta es la masa total de CO₂ emitida durante la fase de prueba.

$$m_{CO_2, c} = EF_{CO_2, c} \cdot (f_{cm} \cdot (1 - MC) - \Delta C_c \cdot \frac{\text{charFracC}}{\text{fuelFracC}}) \cdot \frac{1}{1000}$$

$m_{CO, c}$ - Masa de CO producida: Esta es la masa total de CO emitida durante la fase de prueba.

$$m_{CO, c} = EF_{CO, c} \cdot (f_{cm} \cdot (1 - MC) - \Delta C_c \cdot \frac{\text{charFracC}}{\text{fuelFracC}}) \cdot \frac{1}{1000}$$

$m_{PM, c}$ - PM producido en masa: esta es la masa total de PM emitida durante la fase de prueba. Masa de PM producida (gramos).

$$m_{PM, c} = EF_{PM, c} \cdot (f_{cm} \cdot (1 - MC) - \Delta C_c \cdot \frac{\text{charFracC}}{\text{fuelFracC}}) \cdot \frac{1}{1000}$$

$E_{CO_2, c}$ - Emisión de CO₂ por agua hervida: Es la masa total de CO₂ emitida dividida por la masa efectiva de agua hervida, luego multiplicada por la densidad aproximada de agua:

$$E_{CO_2.c} \left[\frac{g_{CO_2}}{L_{H_2O}} \right] = \frac{m_{CO_2}[g_{CO_2}]}{W_{CV}[g_{H_2O}]} \cdot 1000 \left[\frac{g_{H_2O}}{L_{H_2O}} \right]$$

$E_{CO, c}$ - Emisión de CO por agua hervida: es la masa total de CO emitida dividida por la masa efectiva de agua cocida, luego multiplicada por la densidad aproximada de agua:

$$E_{CO.c} \left[\frac{g_{CO}}{L_{H_2O}} \right] = \frac{m_{CO}[g_{CO}]}{W_{CV}[g_{H_2O}]} \cdot 1000 \left[\frac{g_{H_2O}}{L_{H_2O}} \right]$$

$E_{PM, c}$ - Emisión de MP por agua hervida: es la masa total de PM emitida dividida por la masa efectiva de agua hervida, luego multiplicada por la densidad aproximada de agua:

$$E_{PM.c} \left[\frac{g_{PM}}{L_{H_2O}} \right] = \frac{m_{PM}[g_{PM}]}{W_{CV}[g_{H_2O}]} \cdot 1000 \left[\frac{g_{H_2O}}{L_{H_2O}} \right]$$

VARIABLES PARA FASE DE ALTA POTENCIA (ARRANQUE EN CALIENTE)

En esta prueba, las mediciones y cálculos son idénticos a la prueba de Arranque en Frío excepto que la ceniza o braza remanente no es extraída y pesada. Simplemente se sustituye el suscrito “h” por el suscrito “c” en cada variable como en la tabla siguiente. La ceniza o braza remanente se asume ser la misma que la remanente de la fase “Arranque en Frío” [11].

VARIABLES que son medidas directamente:

F_{hi}	Masa de combustible antes de la prueba (gramos)
$P1_{hi}$	Masa de olla de agua antes de la prueba (gramos)
$T1_{hi}$	Temperatura del agua al inicio de la prueba (°C)
$T_{h,i}$	Tiempo al inicio de la prueba (min)
f_{hf}	Masa de combustible después de la prueba (gramos)

C_h	Masa de ceniza o braza con plato después de la prueba (gramos)
$P1_{hf}$	Masa de olla de agua después de la prueba (gramos)
$T1_{hf}$	Temperatura del agua al final de la prueba (°C)
t_{hf}	Tiempo al final de la prueba (min)

Variables que son calculadas:

F_{hm} Combustible consumido, húmedo (gramos)

$$F_{hm} = F_{hi} - F_{hf}$$

ΔC_h Cambio en carbonización durante la prueba (gramos)

$$\Delta C_h = \Delta C_c$$

f_{hd} Madera seca equivalente consumida (gramos)

$$f_{hd} = \frac{f_{hm}(LHV(1 - MC) - MC(4.186(T_b - T_a) + 2,257)) - \Delta C_h \cdot LHV_{char}}{LHV}$$

W_{hv} Agua vaporizada (gramos)

$$W_{hv} = P1_{hi} - P1_{hf}$$

W_{hr} Masa efectiva de agua hervida (gramos)

$$W_{hr} = P1_{hf} - P1$$

Δt_h Tiempo de hervir (min)

$$\Delta t_h = P1_{hf} - P1$$

Δt_h^T Tiempo de temperatura corregido para hervir (min)

$$\Delta t_h^T = \Delta t_h \cdot \frac{75}{T1_{hf} - T1_{hi}}$$

h_h Eficiencia térmica (%)

$$h_h = \frac{4.186(T1_{hf} - T1_{hi})(P1_{hi} - P1) + 2260 \cdot W_{hv}}{f_{hd} \cdot LHV}$$

r_{hb} Tasa de quemado (gramos / min)

$$r_{hb} = \frac{f_{hd}}{\Delta t_h}$$

SC_h Consumo específico de combustible (gramos de madera / litro de agua)

$$SC_h = \frac{f_{hd}}{W_{hr}}$$

SC_h^T Consumo de combustible específico corregido por temperatura (gramos de madera / gramos de agua)

$$SC_h^T = SC_h \cdot \frac{75}{T_{1hf} - T_{1hi}}$$

SE_h^T Consumo de energía específico corregido por temperatura (kJ / litro de agua)

$$SE_h^T = SC_h^T \cdot \frac{LHV}{1000}$$

FP_h Potencia de fuego (W)

$$FP_h = \frac{f_{hd} \cdot LHV}{\Delta t_h \cdot 60}$$

Variables de emisión que son medidas directamente:

CO_{2h} Concentración media de CO₂ (ppm)

CO_h Concentración media de CO (ppm)

PM_h Promedio de concentración de MP (ug / m³)

T_{hd} Temperatura media del conducto (°C)

Variables de emisión que se calculan:

V_h Flujo de escape Total (m³)

$$V_h = Q \cdot \frac{\Delta t_h}{60}$$

CC_h Concentración de carbono de escape (ppm)

$$CC_h = (CO_{2h} - CO_{2b}) + (CO_h - CO_b) + \frac{(PM_h - PM_b) \cdot 0.008314 \cdot (T_d + 273.15)}{15 \cdot P_{atm}}$$

C_h Carbono total en el escape (g / m³)

$$C_h = \frac{CC_h \cdot 12 \cdot P_{atm} \cdot 10^{-6}}{0.00831 \cdot (T_d + 273.15)}$$

f_{he} Combustible seco consumido estimado a partir de las emisiones (gramos)

$$f_{he} = \frac{C_h \cdot V_h}{fuelFracC}$$

CB_h Balance de carbono de la campana (%)

$$CB_h = \frac{f_{he}}{f_{hm} \cdot (1 - MC) - \frac{\Delta C_h \cdot charFracC}{fuelFracC}}$$

$EF_{CO_2, h}$ Factor de emisión de CO₂ (gramos de emisión / gramos de combustible)

$$EF_{CO_2, h} = \frac{(CO_{2h} - CO_{2b})}{CC_h} \cdot \frac{44}{12} \cdot fuelFracC \cdot 1,000$$

$EF_{CO, h}$ Factor de emisión de CO (gramos de emisión / gramos de combustible)

$$EF_{CO, h} = \frac{(CO_h - CO_b)}{CC_h} \cdot \frac{28}{12} \cdot fuelFracC \cdot 1,000$$

$EF_{PM, h}$ Factor de emisión de PM (gramos de emisión / gramos de combustible)

$$EF_{PM, h} = \frac{(PM_h - PM) \cdot fuelFracC \cdot 1,000}{C_h \cdot 1,000,000}$$

$m_{CO_2, h}$ Masa de CO₂ producida (gramos)

$$m_{CO_2, h} = EF_{CO_2, h} \cdot \left(f_{hm} \cdot (1 - MC) - \Delta C_h \cdot \frac{charFracC}{fuelFracC} \right) \cdot \frac{1}{1000}$$

$m_{CO, h}$ Masa de CO producida (gramos)

$$m_{CO, h} = EF_{CO, h} \cdot \left(f_{hm} \cdot (1 - MC) - \Delta C_h \cdot \frac{charFracC}{fuelFracC} \right) \cdot \frac{1}{1000}$$

$m_{PM, h}$ Masa de PM producida (gramos)

$$m_{PM, h} = EF_{PM, h} \cdot \left(f_{hm} \cdot (1 - MC) - \Delta C_h \cdot \frac{charFracC}{fuelFracC} \right) \cdot \frac{1}{1000}$$

$E_{CO_2, h}$ Emisión de CO₂ por agua hervida (gramos de emisión / litro de agua)

$$E_{CO_2, h} = \frac{m_{CO_2, h}}{W_{hr}} \cdot 1000$$

$E_{CO, h}$ Emisión de CO por agua hervida (gramos de emisión / litro de agua)

$$E_{CO, h} = \frac{m_{CO, h}}{W_{hr}} \cdot 1000$$

$E_{PM, h}$ Emisión de PM por agua hervida (gramos de emisión / litro de agua)

$$E_{PM, h} = \frac{m_{PM, h}}{W_{hr}} \cdot 1000$$

VARIABLES PARA LA FASE DE BAJA POTENCIA (EBULLICIÓN A FUEGO LENTO)

En esta prueba, las medidas iniciales son las mismas que en las pruebas de alta potencia, sin embargo, el objetivo de esta prueba es mantener agua a alta temperatura con una potencia de salida mínima de la estufa. Dado que el objetivo es diferente, las interpretaciones de los cálculos también difieren de las de las fases de alta potencia. En adición, una suposición importante se realiza utilizando datos de la prueba de alta potencia de arranque en caliente y se realiza un cálculo adicional que no aparece en las pruebas de alta potencia. Ambos se explican a continuación.

La suposición hecha en esta prueba se basa en la cantidad de carbón presente al comienzo de la fase de ebullición lenta. Al final de la fase de arranque en caliente, cuando el agua hierve, se pesa rápidamente sin alterar el carbón y luego se tiende a mantener el agua a unos pocos grados de ebullición durante 45 minutos. Habrá carbonilla remanente en la estufa de la madera que se usó para hervir el agua durante el arranque en caliente. Quitar ese carbón de la estufa, pesarlo y volver a encenderlo, perturba el fuego y puede provocar que la temperatura del agua baje demasiado por debajo de la ebullición. Por lo tanto, el procedimiento recomendado es suponer que el carbón presente al comienzo de la fase de ebullición lenta es el mismo que el carbón que se midió después de la prueba de arranque en frío de alta potencia (Δcc). Si bien esto no es del todo exacto, el error introducido por esta suposición debe ser mínimo, especialmente si el (los) evaluador(es) siguieron un procedimiento idéntico en las fases de arranque en frío y arranque en caliente.

Variables que son medidas directamente:

F_{si}	Masa de combustible antes de la prueba (gramos)
$P1_{si}$	Masa de olla de agua antes de la prueba (gramos)
$T1_{si}$	Temperatura del agua al inicio de la prueba ($T_{si}=T1_{hf}$) (°C)
$t_{s,i}$	Tiempo al inicio de la prueba de ebullición lenta (min)

f_{sf}	Masa de combustible remanente no quemado después de la prueba (gramos)
C_s	Masa de ceniza o braza con plato después de la prueba (gramos)
$P1_{sf}$	Masa de olla de agua después de la prueba (gramos)
$T1_{sf}$	Temperatura del agua al final de la prueba (°C)
t_{sf}	Tiempo al final de la prueba de ebullición lenta (min)

Variables que son calculadas:

F_{sm} Combustible consumido, húmedo (gramos)

$$F_{sm} = F_{si} - F_{sf}$$

ΔC_s Cambio en carbonización durante la prueba (gramos)

$$\Delta C_s = \Delta C_s - k$$

F_{sd} Madera seca equivalente consumida (gramos)

$$f_{sd} = \frac{f_{sm}(LHV(1 - MC) - MC(4.186(T_b - T_a) + 2,257)) - \Delta C_s \cdot LHV_{char}}{LHV}$$

W_{sv} Agua vaporizada (gramos)

$$W_{sv} = P1_{si} - P1_{sf}$$

W_{sr} Masa efectiva de agua hervida (gramos)

$$W_{sr} = P1_{sf} - P1$$

Δt_s Tiempo de hervir (min)

$$\Delta t_s = P1_{sf} - P1$$

h_s Eficiencia térmica (%)

$$h_s = \frac{4.186(T1_{sf} - T1_{si})(P1_{si} - P1 + W_{sv}) + 2260 \cdot W_{sv}}{f_{sd} \cdot LHV}$$

r_{sb} Tasa de quemado (gramos / min)

$$r_{sb} = \frac{f_{sd}}{\Delta t_s}$$

SC_s Consumo específico de combustible (gramos de madera / litro de agua)

$$SC_s = \frac{f_{sd}}{W_{sr}}$$

SE_s Consumo de energía por temperatura (kJ / litro de agua)

$$SE_s = SE_s \cdot \frac{LHV}{1000}$$

FP_s Potencia de fuego (W)

$$FP_s = \frac{f_{sd} \cdot LHV}{\Delta t_s \cdot 60}$$

TDR Relación de disminución

$$TDR = \frac{FP_c}{FP_s}$$

Variables de emisión que son medidas directamente:

$CO2_s$ Concentración media de CO2 (ppm)

CO_s Concentración media de CO (ppm)

PM_s Promedio de concentración de MP (ug / m³)

T_{sd} Temperatura media del conducto (°C)

Variables de emisión que se calculan:

V_s Flujo de escape Total (m³)

$$V_s = Q \cdot \frac{\Delta t_s}{60}$$

CC_s Concentración de carbono de escape (ppm)

$$CC_s = (CO2_s - CO2_b) + (CO_s - CO_b) + \frac{(PM_s - PM_b) \cdot 0.008314 \cdot (T_d + 273.15)}{15 \cdot P_{atm}}$$

C_s Carbono total en el escape (g / m³)

$$C_s = \frac{CC_s \cdot 12 \cdot P_{atm} \cdot 10^{-6}}{0.00831 \cdot (T_d + 273.15)}$$

f_{se} Combustible seco consumido estimado a partir de las emisiones (gramos)

$$f_{se} = \frac{C_s \cdot V_s}{fuelFracC}$$

CB_s Balance de carbono de la campana (%)

$$CB_s = \frac{f_{se}}{f_{sm} \cdot (1 - MC) - \frac{\Delta C_s \cdot charFracC}{fuelFracC}}$$

$EF_{CO_2, s}$ Factor de emisión de CO2 (gramos de emisión / gramos de combustible)

$$EF_{CO_2, s} = \frac{(CO_{2s} - CO_{2b})}{CC_s} \cdot \frac{44}{12} \cdot fuelFracC \cdot 1,000$$

$EF_{CO, s}$ Factor de emisión de CO (gramos de emisión / gramos de combustible)

$$EF_{CO, s} = \frac{(CO_s - CO_b)}{CC_s} \cdot \frac{28}{12} \cdot fuelFracC \cdot 1,000$$

$EF_{PM, s}$ Factor de emisión de PM (gramos de emisión / gramos de combustible)

$$EF_{PM, s} = \frac{(PM_s - PM) \cdot fuelFracC \cdot 1,000}{C_s \cdot 1,000,000}$$

$m_{CO_2, s}$ Masa de CO2 producida (gramos)

$$m_{CO_2, s} = EF_{CO_2, s} \cdot \left(f_{sm} \cdot (1 - MC) - \Delta C_s \cdot \frac{charFracC}{fuelFracC} \right) \cdot \frac{1}{1000}$$

$m_{CO, s}$ Masa de CO producida (gramos)

$$m_{CO, s} = EF_{CO, s} \cdot \left(f_{sm} \cdot (1 - MC) - \Delta C_s \cdot \frac{charFracC}{fuelFracC} \right) \cdot \frac{1}{1000}$$

$m_{PM, s}$ Masa de PM producida (gramos)

$$m_{PM, s} = EF_{PM, s} \cdot \left(f_{sm} \cdot (1 - MC) - \Delta C_s \cdot \frac{charFracC}{fuelFracC} \right) \cdot \frac{1}{1000}$$

$E_{CO_2, s}$ Emisión de CO2 por agua hervida (gramos de emisión / litro de agua)

$$E_{CO_2, s} = \frac{m_{CO_2, s}}{W_{sr}} \cdot 1000$$

$E_{CO, s}$ Emisión de CO por agua hervida (gramos de emisión / litro de agua)

$$E_{CO, s} = \frac{m_{CO, s}}{W_{sr}} \cdot 1000$$

$E_{PM, s}$ Emisión de PM por agua hervida (gramos de emisión / litro de agua)

$$E_{PM, s} = \frac{m_{PM, s}}{W_{sr}} \cdot 1000$$

h_s - el cálculo de la eficiencia térmica para hervir a fuego lento es un poco diferente que el cálculo de alta potencia. Para la eficiencia térmica de alta potencia, la masa de agua hervida es la masa de agua al inicio de la prueba ($P1_{ci} - P1$). Para la

eficiencia térmica de baja potencia, la masa efectiva de agua a fuego lento es el promedio de las masas de agua inicial y final en el recipiente:

$$(P1_{si} - P1 + W_{sr})/2$$

Esta diferencia de cálculo no es importante porque la eficiencia térmica no se debe utilizar para evaluar el rendimiento de la estufa de baja potencia. Debido a que la eficiencia térmica representa el calor sensible y las pérdidas por evaporación, recompensa la generación de vapor. En la mayoría de las condiciones de cocción, el exceso de producción de vapor no disminuye el tiempo de cocción, ya que la temperatura en la olla se fija en el punto de ebullición. Por lo tanto, producir vapor en exceso, si bien refleja la energía del combustible transferida a la olla de cocción, no es necesariamente un buen indicador del rendimiento de la estufa. En su lugar, se debe usar la relación de cobertura y el consumo de combustible específico de baja potencia de IWA para evaluar el rendimiento de la estufa a baja potencia.

TDR: relación de disminución es la relación entre la potencia de fuego alta promedio y la potencia de fuego media baja. Representa el grado en que la potencia de fuego de la estufa puede ser controlada por el usuario:

$$TDR = \frac{FP_c}{FP_s}$$

No hay un consumo específico corregido por temperatura en la fase de cocción lenta porque el cambio de temperatura debe limitarse a unos pocos grados.

Es importante recordar que el objetivo de esta parte de la prueba es mantener el agua a una temperatura justo por debajo de la ebullición, y se deben interpretar los resultados en consecuencia. Mientras que el consumo específico en las fases de alta potencia (SC_c y SC_h) indicaba la masa de combustible necesaria para completar la tarea de hervir un litro (o kilogramo) (incluida la evaporación de un poco de agua), el consumo específico en la fase de ebullición lenta (SC_s) indica la masa de combustible requerida para mantener cada litro (o kilo) de agua tres grados por debajo de la temperatura de ebullición. Estos no son directamente comparables, sino que cuentan dos medidas diferentes del rendimiento de la estufa. Lo mismo es

cierto para otros indicadores, como la velocidad de combustión y la potencia de fuego [11].

2.4.1.4 Medición de Emisiones

La emisión de contaminantes de estufas requiere más compromiso que el simple WBT para eficiencia.

¿Cuáles contaminantes deben medirse? Se pueden medir muchos contaminantes, pero los más importantes son el CO (monóxido de carbono) y el PM (material particulado, humo). El CO tiene algunos efectos a corto plazo para la salud y puede tener también efectos a largo plazo. PM tiene efectos a corto y largo plazo en la salud. Debe medir ambos, aunque el CO es relativamente fácil de medir y el MP es más difícil. Tus ojos pueden diferenciar entre una estufa bastante humeante y una que no es muy humeante. Sin embargo, es difícil agregar visualmente todo el humo emitido en el transcurso de una comida cocinada. Además, el humo puede ser más difícil de ver dependiendo de su color, de la iluminación y del contraste con el fondo.

Otras emisiones también son de interés. Por ejemplo, los hidrocarburos poliaromáticos (HAP) pueden tener algunos efectos de salud específicos. Algunos gases reactivos, conocidos como compuestos orgánicos volátiles (VOC) podrían contribuir a la formación de ozono. Los gases de efecto invernadero distintos del CO₂ (GEI, como el metano) pueden ser de interés si su proyecto de estufas puede financiarse por razones climáticas. PM también afecta el clima, especialmente la parte oscura (conocida como carbón negro). La mayoría de estos contaminantes son más difíciles de medir, y lo mejor es que los realice un centro regional de pruebas [11].

Las emisiones de la quema de combustible sólido son variables tanto en tiempo como en espacio. La medición en un solo lugar en el escape o durante un período corto de tiempo no da lecturas de emisión precisas. Se necesita algún método para

promediar todos los eventos durante la combustión. Debido a que la combustión es tan inestable, no se puede tomar una medición de una sola vez con una sonda de gas como lo hacen los técnicos del horno. Por ejemplo, una gran parte de los contaminantes se emiten durante la ignición o la adición de madera. Una muestra de una sola vez tomada durante este tiempo sobreestimaría las emisiones promedio; una sola muestra que perdió ese tiempo subestimaría la tasa de emisión. Los contaminantes cambian a medida que salen de la cámara de combustión caliente. Estos cambios pueden no afectar las concentraciones de CO, pero son bastante importantes para PM. Uno de estos cambios es causado por "compuestos orgánicos semi-volátiles", que actúan de manera similar al agua. Son gaseosos en el escape caliente y luego condensados en partículas a medida que el escape se enfría. Medir emisiones realistas requiere esperar hasta que el escape sea enfriado. Si mide el escape caliente, puede subestimar en gran medida las concentraciones de partículas. El escape de la estufa también está mojado. Contiene agua del combustible, de la combustión y de la olla. Como el escape se enfría, el agua se condensa y el agua líquida puede dañar las mediciones de contaminantes. El escape debe secarse antes de drenarlo a través de las mediciones. Además, el agua puede ser incorporada a las partículas si la humedad relativa (humedad) en el escape es alta. Esto da a las partículas masa más aparente que la que tendrían cuando están secas, para poder medir la concentración de partículas demasiado alto.

Por lo tanto, el procedimiento de muestreo debe: (1) integrar la muestra en todo el ciclo de combustión; (2) integrar la muestra sobre toda la columna de escape; (3) enfriar y secar el escape; y (4) relacionar las emisiones con el combustible quemado.

El enfriamiento y el secado se pueden lograr por uno de dos métodos. La **dilución** con aire limpio y seco es el método recomendado. Esto enfría el escape a temperatura cercana a la habitación y reduce el vapor de agua en el escape caliente a concentraciones donde no se condensará. Otro método, usado en el clásico

muestreo en pila de EPA de los EE. UU., consiste en el muestreo con un tren de procesos: recolección de PM del escape caliente, secado, enfriamiento y recolección de material condensado adicional en “impingers” fríos. El último método también se considera muy complejo para la mayoría de los diseñadores de estufas, y mucho muestreo moderno se realiza con dilución, de todos modos (Hildemann et al., 1989; U.S. EPA, 2000).

Emisiones totales e internas. Las estufas con chimeneas se pueden probar por separado para las emisiones de aire en interiores (de la estufa, no de la chimenea). Para medir las emisiones totales, se capturan las emisiones de la estufa y de la chimenea a través del sistema de campana y conducto. Para medir las emisiones en interiores, la campana de acero se coloca sobre la estufa, y la chimenea penetra la capucha. Las emisiones de la estufa son medidas, mientras que las emisiones de la chimenea son liberadas sin ser medidas. Para estufas sin chimeneas que se usan en interiores, las emisiones totales y en el interior son idénticas [11].

2.4.1.5 Recolección de datos

Se estableció anteriormente que el procedimiento de muestreo debe integrar la muestra sobre el ciclo de quemado entero. Para esto, se necesitan ya sea mediciones que registren datos en tiempo real o una muestra integrada que recolecte muestras de todos los tiempos durante la quema. En otras palabras, se necesita recolectar datos que se pueda promediar después, o se necesita producir un promedio físico mediante la recolección de muestras pequeñas, continuas a través de la evaluación. Se recomienda altamente **la recolección de datos en tiempo real [11]**.

2.4.1.6 Mediciones contaminantes

Además de las mediciones de contaminantes, la temperatura, presión y humedad relativa en el punto de medición de la concentración siempre debe registrarse antes

y después de cada prueba. Si es posible, estos valores deben ser monitoreados continuamente a lo largo de la prueba [11].

Monóxido de Carbono

Método 1 – Electroquímico (Tiempo real)

Método 2 – Infrarrojo No Dispersivo

Materia Particular

Método 1 – Gravimétrico (Integrado)

Método 2 – Óptico (tiempo real)

Otros métodos – Los laboratorios de investigación a veces usan otros métodos para medir la masa en tiempo real. Aquí, no se discutió el Microbalance Oscilante de Elemento Cónico (TEOM) porque tiene dificultad para medir el material semi-volátil. Tampoco se discutieron mediciones en tiempo real y de tamaño resuelto como el “Scanning Mobility Particle Sizer” (SMPS) o “Electrical Low Pressure Impactor” (ELPI), porque se consideran difícil de operar y mantener en el laboratorio de estufas promedio.

Dióxido de Carbono

Método 1 – Infrarrojo No Dispersivo (NDIR, tiempo real)

Método 2 – Inferencia basada en contenido de oxígeno

Tasa del Flujo de Escape

Un orificio, o una placa con un orificio que causa una caída de presión, es una forma común de medir el flujo de escape. Para el flujo turbulento, el caudal es proporcional a la raíz cuadrada de la caída de presión. La relación flujo versus presión debe calibrarse comparando con un dispositivo de flujo más preciso. Antes de instalar un orificio, debe consultarse un libro de texto de ingeniería para determinar dónde ubicar los grifos de presión y dónde colocar el orificio.

Los tubos de Pitot, que se utilizan para medir la velocidad del flujo de fluido, también pueden medir el flujo de escape utilizando la diferencia de presión entre un grifo que mira hacia el flujo y un grifo protegido del flujo [11].

2.4.1.7 Adquisición de datos

Si los contaminantes se monitorean en tiempo real, los datos en tiempo real deberán registrarse y promediarse después de la prueba. Existen recopiladores de datos robustos y económicos que recopilan datos en tiempo real y luego pueden descargarlos en una computadora personal (o un Palm Pilot). Para ver los datos mientras se toman las medidas, se necesita un sistema computarizado de adquisición de datos. Este sistema incluirá una tarjeta que habla con la computadora ("A / D" o una placa analógica a digital), otra placa donde se recopilan las señales y el software.

Los usuarios deben contar con nociones de informática para recuperar los datos de los registradores y producir resultados significativos. Los registradores de datos deben incluir un manual de capacitación y una hoja de cálculo que hace la mayor parte del trabajo [11].

2.4.2 Prueba de Cocinado Controlado (CCT)

Es una prueba de campo que mide el desempeño de una estufa en comparación con los métodos de cocinado tradicional cuando un cocinero prepara una comida local predeterminada. La CCT está designado para evaluar el desempeño de una estufa en una configuración controlada utilizando combustibles, ollas y prácticas locales. Revela lo que es posible en los hogares bajo condiciones controladas, pero no necesariamente lo que es actualmente logrado por los hogares durante el uso diario.

La CCT está diseñada para evaluar el desempeño de la estufa mejorada relativo a las estufas tradicionales o comunes que el modelo mejorado pretende reemplazar. Las estufas son comparadas mientras realizan una tarea de cocinado estándar que es más cercano al cocinado actual que las personas locales realizan cada día. Como sea, las pruebas están diseñadas de manera que minimiza la influencia de otros factores y permite que las condiciones de evaluación sean reproducidas.

El equipamiento requerido para conducir una serie de evaluaciones de CCT es similar al equipamiento requerido para realizar el WBT. Además, una cantidad suficiente de comida se necesitará para conducir todas las pruebas.

Combustible – una mezcla homogénea de combustible de leña secado al aire debe ser procurada. Suficiente leña para todas las pruebas CCT deben ser obtenidas anticipadamente. Utilice una entrada local para determinar la cantidad de combustible requerido para cocinar una “comida estándar” en una estufa tradicional. Asuma que cada estufa será probada al menos 3 veces y permita un margen de error. Por ejemplo, si las personas locales reportan que una comida estándar requiere ~2.5 kg de combustible de leña y se van a evaluar tres estufas, entonces el rango de pruebas requerirá [12]:

$$2.5 \frac{\text{kg}}{\text{comida}} \times 3 \text{ estufas} \times 3 \frac{\text{pruebas}}{\text{estufas}} \times 2$$

El factor final de 2 es incluido para permitir pruebas abortadas y otras contingencias. Esto es aproximadamente 45 kg de leña. Como en el WBT, el combustible puede ser dividido en manojos previamente pesados para ahorrar tiempo durante la evaluación [12].

Comida y Agua – Los evaluadores deben asegurarse de contar con suficiente comida y agua para el rango completo de pruebas. Como el combustible, la comida debe ser homogénea de modo que la variabilidad en la comida no sesgue los resultados de la prueba.

Olla(s) de cocinado: si es posible, utilice las ollas de cocinado estándares provistas con los kits de evaluación. Si las ollas estándares no caben en una o más estufas a evaluarse, utilice las ollas más apropiadas y asegúrese de registrar las especificaciones en la forma de Datos y Cálculo. Si es posible, el mismo tipo (tamaño, forma, y material) de ollas deben ser utilizadas para probar cada estufa. Como sea, a diferencia del WBT, las tapas deben ser utilizadas si los cocineros locales las utilizan comúnmente.

Báscula – Al menos 6 kg de capacidad y 1 gramo de exactitud.

Almohadilla resistente al calor para proteger la báscula cuando se pese el carbón.

Medidor de humedad de leña.

Cronómetro.

Termómetro (únicamente para registrar temperatura ambiente – las temperaturas de la comida no se registran en CCT).

Pequeña pala o espátula para remover el carbón de la estufa al pesarla.

Recogedor para trasladar el carbón.

Bandeja metálica para sostener el carbón a la hora de pesar.

Guantes resistentes al calor.

2.4.2.1 Procedimiento de la CCT

El CCT descrito aquí está destinado principalmente a comparar el rendimiento de una estufa mejorada con una estufa tradicional en una tarea de cocción

estandarizada. El procedimiento que sigue debe aplicarse al tipo de estufa que se usa comúnmente en la comunidad, así como al modelo o modelos de estufas que se promueven. Se recomiendan tres repeticiones del CCT para cada estufa que se compara [12].

1. El primer paso para conducir la CCT es consultar con las personas en el lugar donde se van a introducir la estufa o las estufas para elegir una tarea de cocción adecuada. Esto debe hacerse con bastante anticipación, para garantizar que se puedan obtener suficientes alimentos para realizar todas las pruebas necesarias.
 - a. Si la estufa está diseñada para uso doméstico, entonces la tarea debería ser una comida típica que consiste en alimentos que se comen regularmente en la comunidad. Puede incluir uno o más platos, aunque los alimentos que requieren preparaciones complicadas deben evitarse por el tiempo. Además del tipo de alimento, los evaluadores y los participantes de la comunidad también deben decidir la cantidad precisa de alimentos que sea mejor representativa de la comida de una familia típica. Esto es crítico para asegurar que las pruebas sean uniformes. Si se utilizan medidas locales, los evaluadores deben convertir esto en medidas estándar y registrarlas en el formulario Datos y cálculos. El siguiente cuadro muestra un ejemplo de los alimentos utilizados para un CCT en África occidental (de Baldwin, 1987).
 - b. Si la estufa está diseñada para aplicaciones especializadas, por ejemplo, para hacer tortillas o chapati, entonces la tarea de cocinar requiere menos insumos y los evaluadores simplemente deben decidir la cantidad exacta de alimento en la cual basarán la prueba.
 - c. Una vez que se ha decidido una tarea de cocina, asegúrese de que haya suficiente comida disponible para realizar las pruebas.
2. Después de decidir sobre una tarea de cocinado, el procedimiento debe describirse con el mayor detalle posible y registrarse de forma que los usuarios de la estufa y los evaluadores puedan comprenderlo y seguirlo. Esto

es importante para garantizar que la tarea de cocinar se realice de forma idéntica en cada estufa. Si es posible, incluya una medida objetiva de cuándo la comida está "hecha". En otras palabras, es preferible definir el final de la tarea de cocción por un factor observable como "las pieles salen de los frijoles" en lugar de una medida subjetiva como "la salsa sabe bien" (VITA, 1985, CCT Nota de procedimiento 2).

Después de que se hayan obtenido suficientes ingredientes y combustible y todos los participantes hayan redactado y comprendido los pasos de la tarea de cocinado, la prueba real puede comenzar. La cocina en sí debe ser hecha por una persona local que esté familiarizada tanto con la comida que se está cocinando como con la operación de la estufa que se probará. Si la estufa es un nuevo diseño que difiere significativamente de las prácticas de cocción tradicionales, es probable que se requiera cierto entrenamiento antes de realizar las pruebas reales. Al comparar las estufas con la CCT, si se usa más de una cocción, cada cocinero debe probar cada estufa la misma cantidad de veces, para eliminar la cocción como posible fuente de sesgo en las pruebas. Además, para garantizar que los evaluadores tengan control sobre el entorno de prueba, las pruebas deben realizarse en un entorno controlable, como un laboratorio o taller, en lugar de hacerlo en una casa privada [12].

3. Registre las condiciones locales como se indica en el formulario Datos y Cálculo.
4. Pese los ingredientes predeterminados y haga todas las preparaciones (lavado, pelado, corte, etc.) como se describe en las instrucciones de cocción registradas en el paso 2 anterior. Para ahorrar tiempo, para alimentos no perecederos, la preparación se puede hacer a granel, de modo que la comida para todas las pruebas se prepare a la vez.
5. Comience con un paquete de combustible previamente pesado que es aproximadamente el doble de la cantidad que las personas locales

consideran necesaria para completar la tarea de cocina. Registre el peso en el lugar apropiado en el formulario Datos y Cálculo.

6. Comenzando con una estufa fría, permita que los cocineros enciendan el fuego de manera que refleje las prácticas locales. Inicie el temporizador y registre la hora en el formulario Datos y Cálculo.
7. Mientras el cocinero realiza la tarea de cocinar, registre las observaciones y comentarios relevantes que haga el cocinero (por ejemplo, las dificultades que encuentren, el calor excesivo, el humo, la inestabilidad de la estufa o la olla, etc.).
8. Cuando finalice la tarea, registre la hora en el formulario Datos y Cálculo (consulte los comentarios para determinar cuándo se completa la tarea en el paso 2 anterior).
9. Retire la (s) olla (s) de comida de la estufa y pese cada olla con su comida en la balanza. Registre el peso en gramos en el formulario Datos y Cálculo.
10. Retire la madera no quemada del fuego y exínela. Golpee el carbón de los extremos de la madera no quemada. Pese la madera no quemada de la estufa con la madera restante del paquete original. Coloque todo el carbón en la bandeja designada y péselo también. Registre ambas medidas en el formulario Datos y Cálculo.
11. La prueba ahora se completó; ahora puede disfrutar de la comida que se cocinó o proceder al probar la siguiente estufa; cada estufa debe probarse al menos 3 veces.

2.4.2.2 Análisis de la CCT

Variables

Como en el WBT, hay una serie de variables que se miden directamente. Estos incluyen variables ambientales y parámetros de pruebas físicas. Las variables ambientales pueden variar ligeramente de una prueba a otra, pero deberían ser casi constante. Los parámetros de la prueba física deben ser constantes para todas las pruebas [12].

Variables Ambientales:

- Condiciones del viento
- Temperatura del aire

Parámetros de la prueba física

Variable	Etiqueta
Dimensiones promedio de leña (cm)	--
Contenido de humedad de la leña (% - base húmeda)	m
Peso vacío de la olla # 1 (gramos)	P1
Peso vacío de la olla # 2 (gramos)	P2
Peso vacío de la olla # 3 (gramos)	P3
Peso vacío de la olla # 4 (gramos)	P4
Peso del contenedor para la ceniza o braza	K
Punto de ebullición del agua local (°C)	T _b

Al finalizar la prueba, se toman varias medidas. Éstas incluyen:

Peso inicial de la leña (base húmeda) (gramos)	f _i
Peso final de la leña (base húmeda) (gramos)	f _f
Peso de carbón con contenedor (gramos)	f _c
El peso de cada maceta con comida cocinada (gramos)	P _{jf} (j es un índice para la olla de cocción que varía de 1-4 dependiendo de la cantidad de ollas utilizadas para cocinar)
Comienzo y término los tiempos de cocción (minutos)	t _i y t _f

Estas medidas se usan para calcular los siguientes indicadores del rendimiento de la estufa [12]:

Peso total de los alimentos cocinados (W_f): este es el peso final de todos los alimentos cocinados; simplemente se calcula restando el peso de las ollas vacías de las ollas y los alimentos después de completar la tarea de cocinar:

$$W_f = \sum_{j=1}^4 (P_{jf} - P_j) \text{ donde } j \text{ es un índice para cada tipo de olla (hasta 4).}$$

Peso restante de braza o ceniza (ΔC_c): la masa de carbón que se encuentra dentro de la estufa, incluida la carbonilla eliminada de los extremos del combustible no quemado que se extingue justo al final de la tarea de cocción. Esto se encuentra por simple resta:

$$\Delta C_c = C_c - k$$

Madera seca equivalente consumida (f_d): se define como para el WBT, ajustando la cantidad de madera que se quemó para tener en cuenta dos factores: (1) la madera que se debe quemar para vaporizar la humedad en la madera y (2) la cantidad de carbón que queda sin quemar después de completar la tarea de cocinar. El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$f_d = (f_f - f_i) * (1 - (1.12 - m)) - 1.5 * \Delta C_c$$

Consumo específico de combustible (SC): este es el principal indicador del rendimiento de la estufa para la CCT. Le dice al evaluador la cantidad de combustible requerida para cocinar una cantidad dada de alimentos para la "tarea de cocción estándar". Se calcula como una simple relación de combustible a comida:

$$SC = \frac{f_d}{W_f} * 1000$$

Esto se reporta en gramos de combustible por kilogramo de comida cocida, mientras que W_f se informa en gramos. Por lo tanto, se incluye un factor de 1000 en el cálculo.

Tiempo total de cocción (Δt): también es un indicador importante del rendimiento de la estufa en la CCT. Dependiendo de las condiciones locales y las preferencias individuales, los usuarios de estufas pueden valorar este indicador más o menos que el indicador de consumo de combustible. Esto se calcula como una simple diferencia de reloj:

$$\Delta t = t_f - t_i$$

2.4.3 Prueba de Desempeño de Cocina

La Prueba de Desempeño de Cocina (KPT, por sus siglas en inglés Kitchen Performance Test) Es el principal procedimiento basado en campo para demostrar el efecto de intervenciones de estufas en el consumo de combustible doméstico. Existen dos objetivos principales en la KPT [13]:

1. Evaluar los aspectos cualitativos del desempeño de la estufa a través de encuestas domésticas.
2. Comparar el impacto de estufas mejoradas en consumo de combustible en las cocinas de hogares reales.

Para cumplir con estos objetivos, la KPT incluye encuestas cuantitativas de consumo de combustible y encuestas cualitativas del desempeño de estufa y aceptabilidad. Este tipo de evaluación, cuando son conducidas cuidadosamente, es la mejor manera de entender el impacto de la estufa en el uso del combustible y en características domésticas generales y comportamientos porque ocurre en los hogares de los usuarios de las estufas (Lillywhite, 1984; VITA, 1985). Como sea, también es la manera más difícil de evaluar estufas porque se interfiere en las actividades diarias de las personas. Además, las mediciones tomadas durante el KPT son más inciertas porque fuentes potenciales de error son más difíciles de controlar en comparación a las pruebas basadas en laboratorio. Por esta razón, el protocolo de KPT es bastante diferente de los protocolos para la WBT y la CCT [13].

2.4.4 Prueba de Cocinado No Controlado

El Centro SeTAR de la Universidad de Johannesburgo ha adoptado y desarrollado más allá un método denominado Prueba de Cocinado No Controlado (UCT, por sus siglas en inglés Uncontrolled Cooking Test). En este método la comida no es

sesgada y el cocinero es libre de preparar lo que quiera, como quiera, con solo las medidas de leña utilizada y la masa de comida cocinada como parte de una comida doméstica actual. Cuando es comparado con la CCT, este debe proporcionar un conjunto de datos más fuerte y representativo con una mejor medida de variabilidad inherente como es determinada por las diferencias del mundo real en el comportamiento del usuario, leña local, etc. En la provisión de un perfil de desempeño de estufa a través de un rango de condiciones (tamaño de la comida), el protocolo de la UCT es fundamentalmente diferente de otras evaluaciones basadas en tareas que analizan una sola tarea, el cocinado de una comida específica, en repetidas pruebas. Comparado con la KPT, este método también tiene el potencial de ofrecer una forma rápida y más rentable de evaluar ahorros de energía entregadas por una nueva tecnología como parte de una compensación de carbono o programa de desarrollo.

La pregunta crucial es si puede proveer resultados de pruebas que muestren menor variancia que los métodos de evaluación de campo existentes, y al hacerlo utilicen los mismos o menos recursos [14].

2.4.5 Protocolo de Evaluación de Desempeño y Emisiones para fabricantes de estufas.

El Protocolo de Evaluación de Desempeño y Emisiones para fabricantes de estufas (EPTP, por sus siglas en inglés Stove Manufacturers Emissions & Performance Test Protocol,). Se trata de una actualización de la Evaluación de Ebullición del Agua versión 3.0 por Balis et. al. y provee un protocolo estandarizado para medir y comparar el desempeño de una estufa de cocción [15].

El EPTP es una aproximación de los procesos de cocción del mundo real, que pueden ser conducidos en la mayoría de las estufas alrededor del mundo. Al utilizar eficiencias térmicas y producciones de emisiones medidas. La Prueba de Ebullición

del Agua puede ser utilizado para predecir aproximadamente el desempeño de estufas para varias tareas de cocina.

Para proveer un perfil más completo de eficiencia de combustible y emisiones, este protocolo mide múltiples aspectos de desempeño de la estufa: consumo de combustible, relación de disminución, eficiencia térmica, monóxido de carbono y materia particular.

El EPTP no pretende reemplazar todas las otras formas de evaluación de estufas. Está diseñada como un método simple con el cual las estufas hechas en diferentes lugares y para diferentes aplicaciones de cocina puedan ser comparadas a través de una prueba estandarizada y replicable. Pretende ayudar a los diseñadores de estufas a entender que tan bien la energía es transferida del combustible a la olla y como esto se relaciona con las emisiones de monóxido de carbono y de partículas.

Secuencia de la Prueba.

El EPTP consiste en 3 fases. Para cada estufa de leña probada, las fases 1, 2, y 3 son realizadas 3 veces en secuencia. A cada estufa, le toma aproximadamente 1.5 a 2 horas una secuencia de evaluación completa de alta y baja energía [15].

Fase 1: Arranque en frío, prueba de alta energía. En esta fase, el evaluador comienza con la estufa a la temperatura de la habitación y utiliza un bulto de leña previamente pesado, u otro combustible para calentar una cantidad de agua medida a 90 °C en una olla estándar.

Fase 2: Arranque en caliente, prueba de alta energía. La segunda fase sigue inmediatamente a la primera, mientras la estufa está todavía caliente. El evaluador primero reemplaza el agua calentada en la fase 1 con una olla fresca de agua fría en la temperatura inicial establecida. Nuevamente utilizando un bulto de combustible previamente pesado, el evaluador calienta el agua hasta los 90 °C.

Repitiendo la prueba de calentamiento con una estufa caliente ayuda a identificar diferencias de desempeño cuando una estufa está caliente contra una estufa fría.

Fase 3: Prueba de ebullición a fuego lento. La tercera fase continúa inmediatamente después de la segunda. Aquí el evaluador determina la cantidad de combustible requerida para mantener a fuego lento una cantidad de agua medida justo por encima de los 90 °C por 45 minutos.

Este paso simula la larga cocción de leguminosas o semillas secas muy comunes alrededor del mundo.

Resultados principales del EPTP.

La principal diferencia entre el EPTP y las pruebas de estufas anteriores para la eficiencia térmica está en concepto utilizado de eficiencia. Los estándares del EPTP están basados en un concepto de eficiencia más amplia que el Porcentaje de Calor Utilizado (Percent Heat Utilized – PHU). Las pruebas del EPTP producen varios resultados cuantitativos para su comparación. La importancia relativa de cada uno de estos factores depende de la ubicación y caso de uso para el tipo de estufa en particular [15].

A) EFICIENCIA DE COMBUSTIBLE

- **Consumo de Combustible.** El consumo de combustible puede ser calculado de la siguiente ecuación.

$$\frac{Fuel_{CS} + Fuel_{HS}}{2} + Fuel_{simmer}$$

Promediando las dos fases de alta energía (arranque en frío, CS, y arranque en caliente, HS) cuenta para el hecho de que una estufa puede requerir una cantidad diferente de combustible para completar una tarea, dependiendo de la temperatura inicial de la estufa [15].

- **Relación de disminución.** La relación de disminución es una medida de la extensión a la cual la energía de una estufa puede ser controlada. La

relación de disminución puede ser encontrada tomando la tasa de consumo de combustible de la fase de baja energía sobre el promedio de la tasa de consumo de combustible de las dos fases de alta energía.

$$\frac{\frac{Fuel_{CS}}{Time_{CS}} + \frac{Fuel_{HS}}{Time_{HS}}}{2} + \frac{Fuel_{Simmer}}{Time_{Simmer}}$$

- **Eficiencia Térmica.** La eficiencia térmica de una estufa de cocción de biomasa indica que tan bien esa estufa puede transferir la energía contenida en el combustible a la olla de cocción.

$$\frac{Eficiencia\ Térmica_{CS} + Eficiencia\ Térmica_{HS}}{2}$$

La eficiencia térmica sólo es calculada para las fases de alto poder en este protocolo. Porque el punto de vaporización varía de ubicación a ubicación, introduciendo incertidumbre cuando se calcula la energía requerida para inducir el cambio de fase, la eficiencia térmica de baja energía no está calculada.

B) EMISIONES

La concentración de contaminantes en una habitación puede ser un mejor predictor de efectos en la salud que el total de emisiones masiva. Aunque el EPTP no especifica los niveles de concentración de emisiones en la habitación, el EECL y Philips han desarrollado niveles de concentración máxima sugeridas [15].

- **El total de Monóxido de Carbono (CO).** El total de emisiones es calculado usando la siguiente ecuación.

$$\frac{CO_{CS} + CO_{HS}}{2} + CO_{Simmer}$$

Promediando las dos fases de energía alta (arranque en frío, CS, y arranque en caliente, HS) cuenta para el hecho de que una estufa puede algunas veces ser utilizada para enfriarse completamente de un uso previo. Una estufa con

alta masa térmica puede tener emisiones pobres durante la evaluación de arranque en frío, pero el calor retenido puede mejorar su desempeño durante la evaluación del arranque en caliente.

- **Total de Materia Particulada (Particulate Matter – PM).** El total de Emisiones son calculadas utilizando la siguiente ecuación.

$$\frac{PM_{CS} + PM_{HS}}{2} + PM_{Simmer}$$

Así como en el cálculo de Emisiones de CO, promediando las dos fases de alta energía (CS y HS) cuenta para el hecho de que una estufa puede algunas veces ser utilizada antes de enfriarse completamente de un uso previo. Una estufa con alta masa térmica puede tener emisiones pobres durante la evaluación de arranque en frío, pero el calor retenido puede mejorar su desempeño durante la evaluación del arranque en caliente [15].

2.5 Equipamiento y Materiales.

El equipamiento va en función de los objetivos establecidos por los evaluadores técnicos capacitados, las instalaciones (en caso de pruebas basadas en laboratorio), y de la instrumentación con la que se cuenta. El equipamiento básico al menos para realizar mediciones de eficiencia, de acuerdo con lo especificado en los protocolos, se enlista a continuación, ya que las pruebas de emisiones requieren de instrumentos de altas resoluciones, y en medida del recurso con el que el laboratorio o institución cuente es que podrá tener acceso a instrumentos de mayor calidad y exactitud, así como los procesos para el manejo de muestras.

EQUIPAMIENTO PARA EFICIENCIA

- Báscula.
- Medidor de humedad de madera, con capacidad de al menos del 6-40% de humedad.

- Sonda termopar para temperatura del agua en olla.
- Termómetro.
- Olla de cocción.
- Aislamiento de la olla.
- Implementos para remover el carbón de la estufa.
- Contenedor de carbón.
- Almohadilla resistente al calor para proteger la báscula cuando se pese el carbón.
- Cronómetro.
- Pequeña pala o espátula para remover el carbón de la estufa al pesarla.
- Recogedor para trasladar el carbón.
- Bandeja metálica para sostener el carbón a la hora de pesar.
- Guantes resistentes al calor.

Con base a la implementación del sistema LEMS se puede utilizar el siguiente equipamiento para emisiones:

- Célula electroquímica sensor de CO.
- Sensor infrarojo no dispersivo (NDIR) para medir CO₂.
- Fotómetro de dispersión con receptor de luz y láser para materia particular (PM).
- Sistema gravimétrico para PM mediante muestreo basado en filtros de PM_{2.5}.
- Transductor de presión para medir flujo.
- Sensor Magnehelic® para medición análoga de presión.
- Sensor de temperatura del escape de gas (se necesita medir la densidad del aire para medir el flujo de emisiones).

CONCLUSIONES

La infraestructura y equipamiento para la realización de evaluaciones de estufas depende de factores como:

- Instalaciones
- Contar con personal capacitado y actualizado en emisiones, combustión.
- Personal capacitado y actualizado en la gestión de laboratorios y su infraestructura en general.
- Objetivos de la institución.
- Recurso económico.

Ya que en ello radica tanto la correcta toma de decisiones como las prioridades en cuanto a la adquisición del espacio y equipamiento para llevar a cabo las tareas de evaluación ya sea en campo o en laboratorio bajo condiciones realmente controladas.

Los sistemas populares actuales mencionados en este capítulo son un gran acercamiento a la realización de evaluaciones para sitios donde incluso se pueda carecer del conocimiento básico en el personal, sin que esto signifique total falta de conocimiento, o por otro lado representa una cómoda adquisición para una completa forma de evaluar estufas bajo condiciones de laboratorio al referirnos al LEMS, ya que el SUMS puede llevarse a cabo tanto en laboratorio como en campo.

Bibliografía

- [1] Definicion.de, “Definición de monitoreo - Qué es, Significado y Concepto,” 2008. [Online]. Available: <http://definicion.de/monitoreo/>.
- [2] Bosco Cayo (Chile) *et al.*, “DLE: psicoanálisis - Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario,” *23ª Edicin*, 2014. [Online]. Available: <http://dle.rae.es/?id=UW3XANT>.
- [3] Global Alliance for Clean Cookstoves, “Protocols - Stove Performance.” .
- [4] O. Martínez Aguirre, “Desarrollo de un laboratorio y una metodología para la evaluación de estufas ecológicas,” 2016.
- [5] J. Jetter *et al.*, “Pollutant emissions and energy efficiency under controlled conditions for household biomass cookstoves and implications for metrics useful in setting international test standards,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 46, no. 19, pp. 10827–10834, 2012.
- [6] Aprovecho Research Center, “Instructions for Use of the Laboratory Emissions Monitoring System (LEMS).” pp. 1–39, 2013.
- [7] Berkeley Air Monitoring Group, “Berkeley Air Monitoring Group Monitoring Instruments (Sales & Rentals).” [Online]. Available: <http://berkeleyair.com/monitoring-instruments-sales-rentals/>.
- [8] Berkeley Air Monitoring Group, “Berkeley Air Monitoring Group Laboratory Testing Services for Household Energy Devices.” .

- [9] Berkeley Air Monitoring Group, "Berkeley Air Monitoring Group Field Work." .
- [10] Global Alliance for Clean Cookstoves, "Prueba de ebullicion de agua." 2014.
- [11] PCIA & Global Alliance, "The Water Boiling Test Version 4.1.2; Cookstove Emissions and Efficiency in a Controlled Laboratory Setting," *Glob. Alliances Clear. cookstoves*, vol. 2, no. January 2013, p. 52, 2013.
- [12] S. F. Household Energy and Health Programme, "Controlled Cooking Test (CCT)," no. August, pp. 1–8, 2004.
- [13] R. Bailis and R. Edwards, "Kitchen Performance Test (KPT)," no. January, pp. 1–32, 2007.
- [14] J. Robinson and M. Ibraimo, "THE UNCONTROLLED COOKING TEST Africa," pp. 2–7, 2011.
- [15] M. DeFoort, C. L'Orange, C. Kreutzer, N. Lorenz, W. Kamping, and J. Alders, "Stove Manufacturers Emissions & Performance Test Protocol (EPTP)," 2009.

Capítulo 3.

Desarrollo del Sistema de Monitoreo para la
Evaluación de Estufas Ecológicas

Tabla de contenido

Capítulo 3. Desarrollando el Sistema de Monitoreo	108
3.1 Diseño del Sistema de Monitoreo de Evaluación de Estufas.	108
3.1.1 Incorporación de Infraestructura.	112
3.1.2 Conectividad Energética.	117
3.1.3 Transferencia de Datos.	118
3.1.4 Software.	120
3.2 Construcción y ensamble del Sistema de Monitoreo de Evaluación de Estufas Ecológicas (SIMEEE).	121
3.2.1 Encendido y Apagado del SIMEEE.	123
3.2.2 Calibración de Sensores.	124
3.2.3 Procesamiento de Datos.	124
3.3 Validación del Sistema de Monitoreo de Evaluación de Estufas.	124
3.3.1 Evaluación de Plantilla de Alianza Global.	125
3.3.2 Captura de Datos en Disco.	125
3.3.3 Evaluación de Procesamiento de Datos.	125
Conclusiones	126

Capítulo 3. Desarrollo del Sistema de Monitoreo para la Evaluación de Estufas Ecológicas

Actualmente en el Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables se cuenta con instrumentación para llevar a cabo diferentes mediciones en el ejercicio de evaluación de estufas. Dichas mediciones son suficientes para cumplir con lo establecido en algunos protocolos de evaluación creados por la Alianza Global de Estufas Ecológicas. Tales protocolos no sesgan la metodología de implementación del uso de instrumentos, más bien son una guía para el paso a paso de cómo realizar las evaluaciones a las estufas. Esto da apertura a iniciar con la infraestructura existente y es suficiente tanto para evaluar, así como para el nivel de independencia de operación e inclusión en un sistema de monitoreo que los mismos instrumentos lo permitan.

Se hará uso de la instrumentación existente en el IIIER y se implementarán adecuaciones para incluirlos en un sistema de monitoreo que permita la captura y procesamiento de datos, y visualización en tiempo real.

3.1 Diseño del Sistema de Monitoreo de Evaluación de Estufas.

Hoy en día, el proceso para la captura de los datos de medición obtenidos de los instrumentos existentes en el IIIER se realiza de forma manual, en la Figura 3.1 se describe cómo se realiza este proceso desde cada instrumento hasta su captura en formato digital.

El técnico evaluador captura las lecturas a través de:

- A) La Cámara Termográfica. Para mediciones propias de los protocolos de evaluación o de interés personal al evaluador.
- B) El Sensor de CO₂, temperatura del aire y humedad relativa.

C) El termopar censa la temperatura y esta es visualizada en pantalla a través de un multímetro al cuál se encuentra conectado.

Tales lecturas son escritas a mano en una hoja de papel. Finalmente, el evaluador técnico registra en Excel todas las lecturas capturadas por los instrumentos de medición.

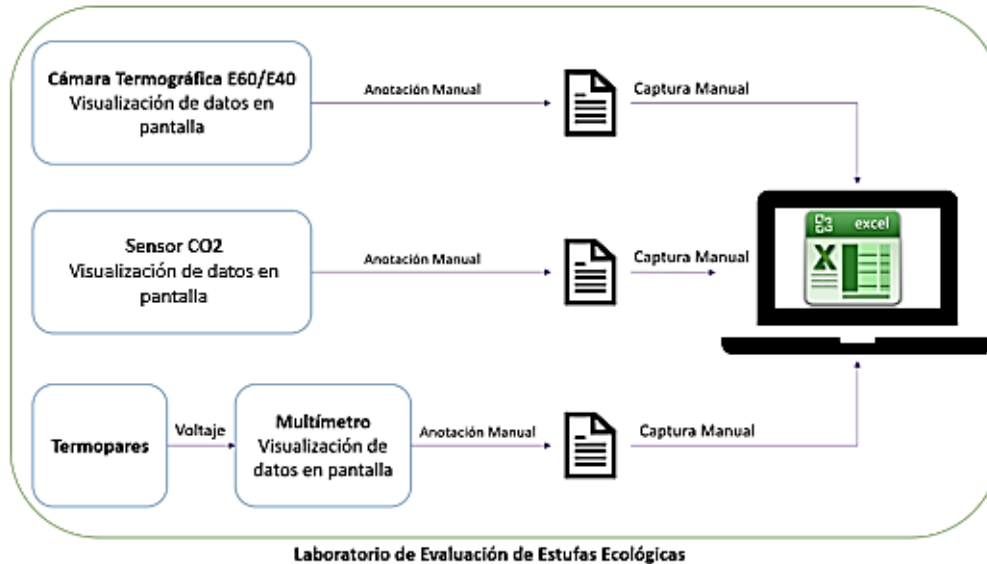


Figura 3.1 Proceso manual existente en el IIIER para la evaluación de estufas

El primer paso es elegir de la instrumentación existente en el IIIER la que permita su inclusión en un sistema mediante el acceso a sus funciones e información.

- Cámara Termográfica FLIR E60
- Cámara Termográfica FLIR E40
- Sensor de CO2
- Termopar

Con esta selección hay que incluir tal instrumentación para lograr un monitoreo de las evaluaciones al momento en que los instrumentos de medición registran las lecturas correspondientes, de tal forma que permita un seguimiento en tiempo real a lo largo del ejercicio. Sin embargo, hasta el momento cada instrumento muestra su información a través de sistemas propietarios independientes. Lo cual no permite una interacción entre los datos que proporciona cada uno de ellos. En la Figura 3.2 se muestra el diseño de esta etapa de unificación.

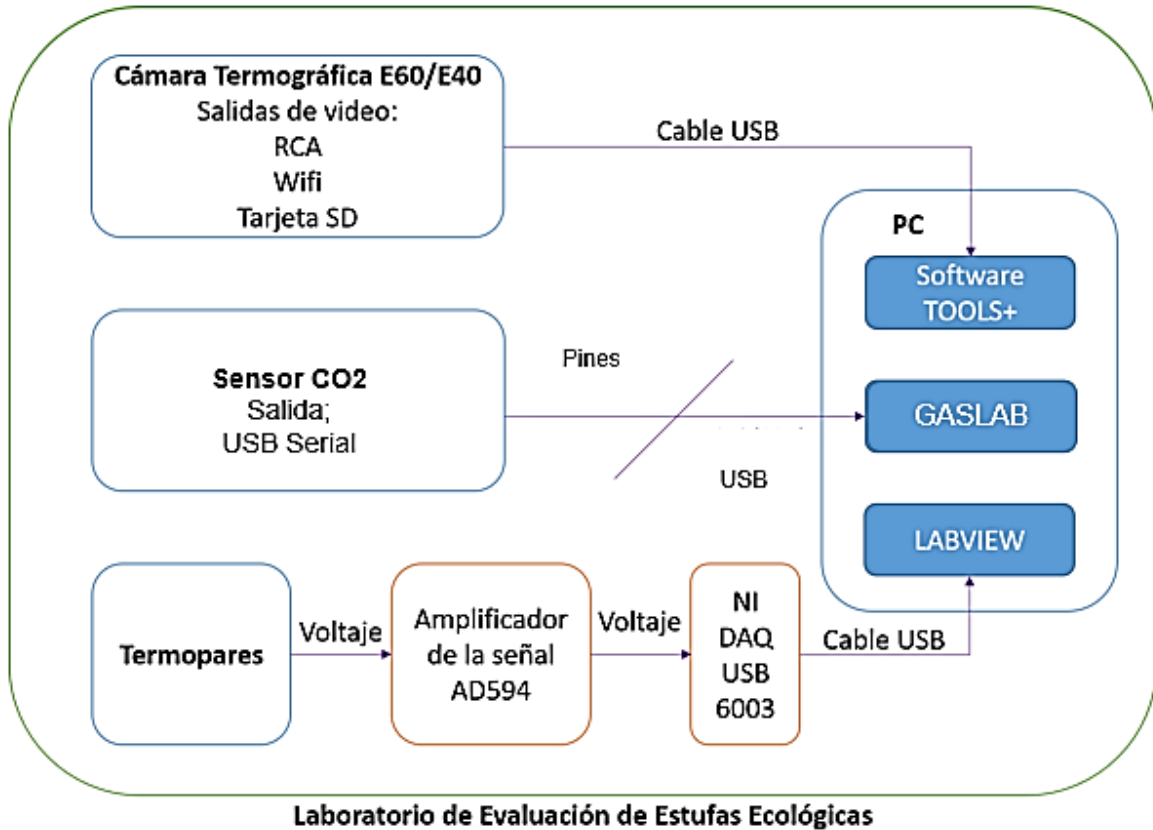
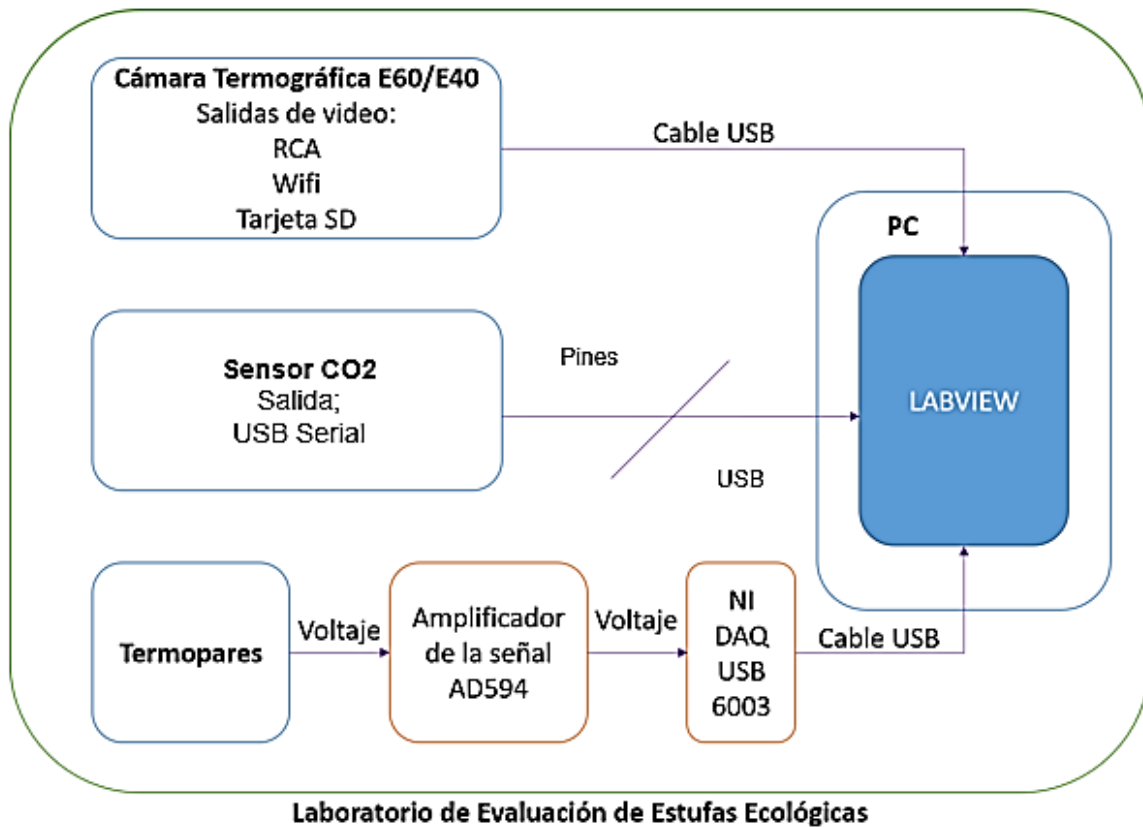


Figura 3.2 Proceso de unificación de sensores y digitalización del monitoreo para la evaluación de estufas

Por último, para lograr la mencionada interacción de los datos, es necesario lograr una integración de los instrumentos sobre una misma plataforma que facilite al técnico evaluador la visualización y el manejo de los datos a través de una misma interfaz. Tal y como se muestra en la Figura 3.3.



Laboratorio de Evaluación de Estufas Ecológicas

Figura 3.3 Proceso de integración de sensores en una misma plataforma para la evaluación de estufas

La operación general de la instrumentación integrada a un mismo sistema o plataforma para el monitoreo de las evaluaciones de las estufas comienza cuando el técnico especialista evaluador prepara cada uno de los instrumentos, así mismo, el servidor que contiene el software del SIMEEE.

El técnico especialista es quien configura la prueba a registrarse en el servidor ingresando los datos de inicio, y así mismo, es quien la inicia en el software. Los instrumentos envían los datos al servidor donde se almacenan y procesan a lo largo del monitoreo en tiempo real de la evaluación. El técnico especialista es quien determina el momento de la captura de datos a lo largo del tiempo real para la prueba.

El técnico especialista puede monitorear la evaluación en tiempo real y es quien puede concluir la misma. Una vez que finaliza la generación de información, esta debe ser almacenada en una localidad de acuerdo con normas del laboratorio, o en su defecto, a conveniencia del técnico especialista. La representación de la

evolución de los datos y el almacenamiento de estos se utilizará para futuras recreaciones de las evaluaciones permitiendo la toma de decisiones que den pie a mejoras sobre las estufas. Esto es representado en el Diagrama 3.1.

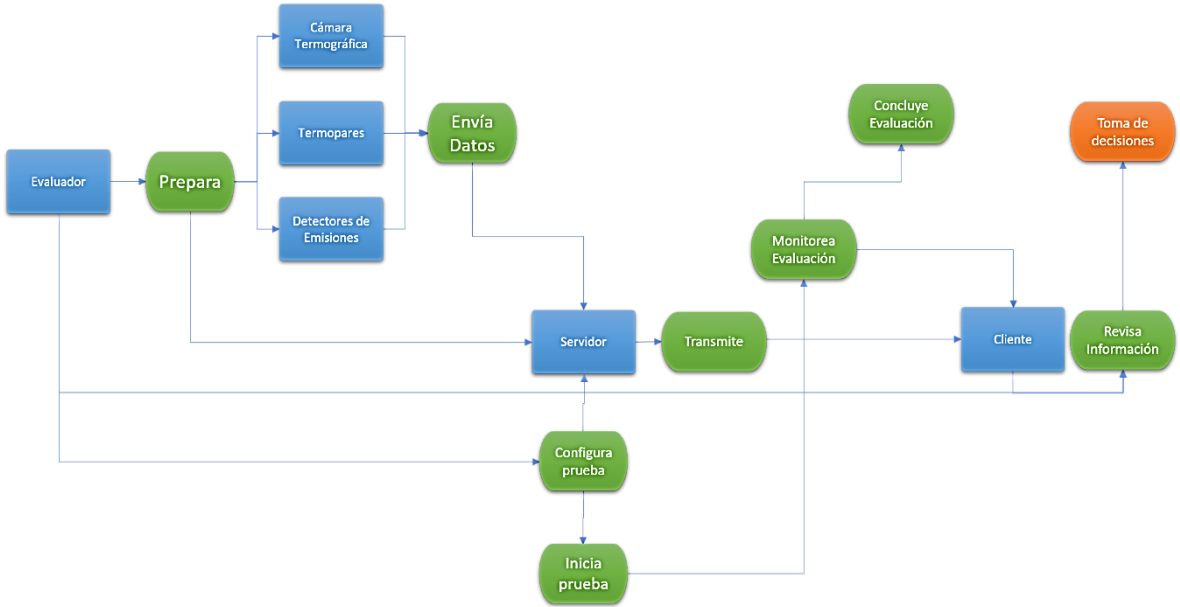


Diagrama 3.1 – Solución General

3.1.1 Incorporación de Infraestructura.

Instalaciones:

- Laboratorio de Evaluación de Estufas Ecológicas (Figura 3.4)



Figura 3.4 – Laboratorio de Evaluación de Estufas Ecológicas

Modelos de estufas existentes en el IIER para validación del SIMEEE:

- Estufa O'nil
- Estufa Enerchía
- Estufa Patsari modificada
- Estufa fogón tradicional

Sensores que se integrarán al SIMEEE:

- Cámara Termográfica modelos FLIR E-60 y FLIR E-40. Estas se fijarán, en el ángulo deseado, apuntando hacia la estufa de manera que permitan la lectura de temperaturas en las áreas y/o puntos de interés (Figura 3.5).

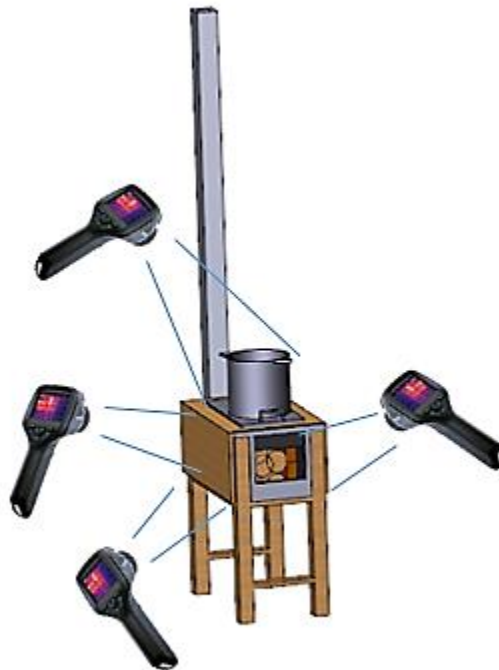


Figura 3.5 – Diferentes ángulos de libertad que puede capturar una cámara termográfica

A continuación, se muestra la operación de la cámara termográfica a través del siguiente diagrama. La cámara termográfica es capaz de realizar capturas en diferentes formatos como lo son:

- Snapshots – Ya que, al tomar fotografías, estas al igual que el vídeo, almacena información en cada uno de sus píxeles.
- Gráfica – Muestra en tiempo real la evolución de los datos capturados de forma que se puede visualizar un comportamiento.
- Temperaturas en puntos o áreas específicas – Permite enfatizar puntos o áreas de interés para el técnico evaluador en tiempo real, así como almacenarlo para evidencia posterior.

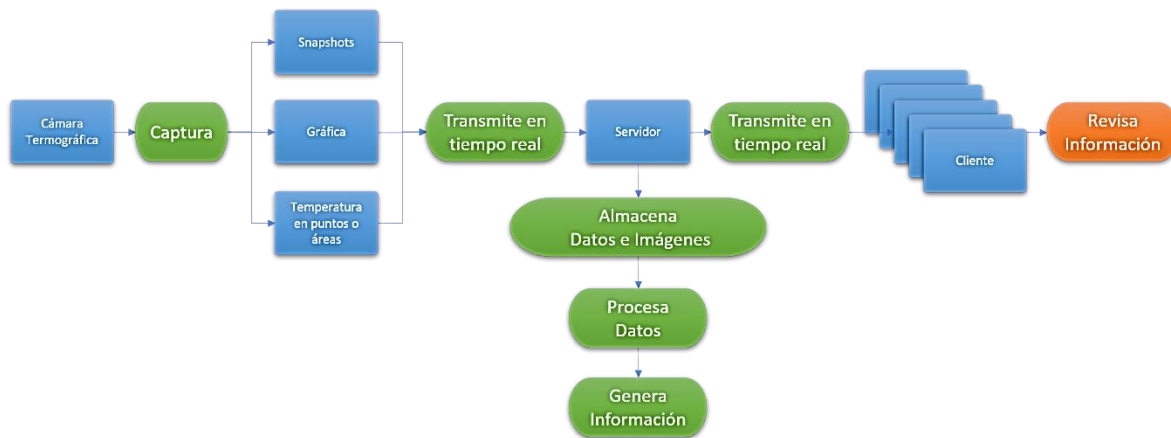


Diagrama 3.2 – Operación de Cámaras Termográficas FLIR E-60 y FLIR E-40

- Sensor de emisiones de Dióxido de Carbono (CO2) – Este sensor transmite sus lecturas con la posibilidad de ser interpretados y enviados como datos a la plataforma lectora en el servidor. La lectura de las emisiones, permitirá graficar un comportamiento de emisiones en el ambiente alrededor del objeto de estudio (Diagrama 3.3).

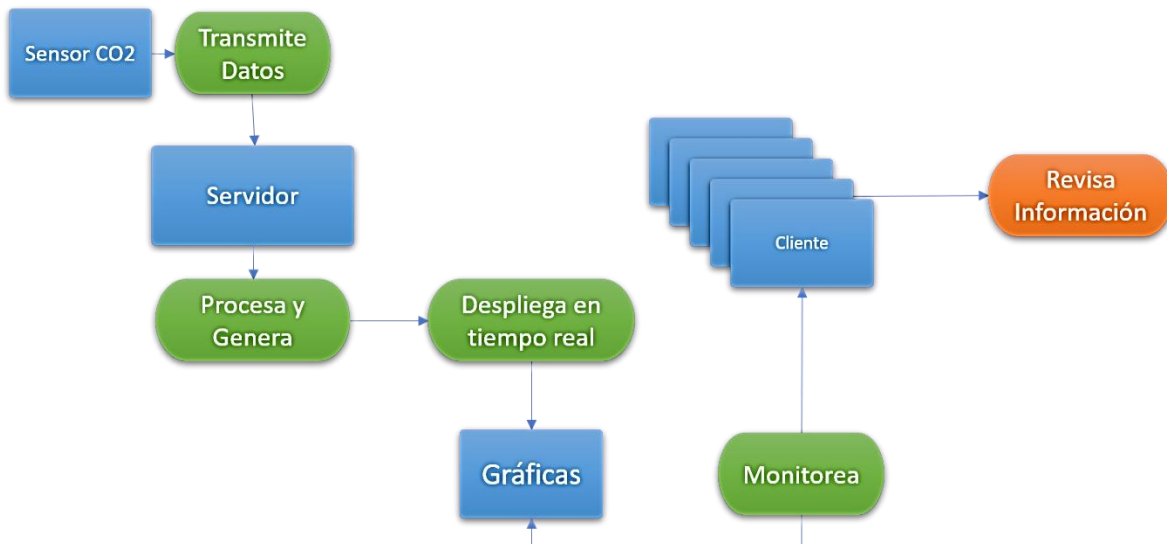


Diagrama 3.3 – Operación de sensor de CO₂

- Termopares. Estos se colocarán de acuerdo a lo establecido en el protocolo internacional de Ebullición del Agua (WBT, por sus siglas en inglés, explicado en el Capítulo 2). En la siguiente imagen se muestra siguiendo las especificaciones del WBT, sin embargo, por naturaleza propia del termopar este puede ser ubicado a conveniencia del técnico evaluador (Figura 3.6).

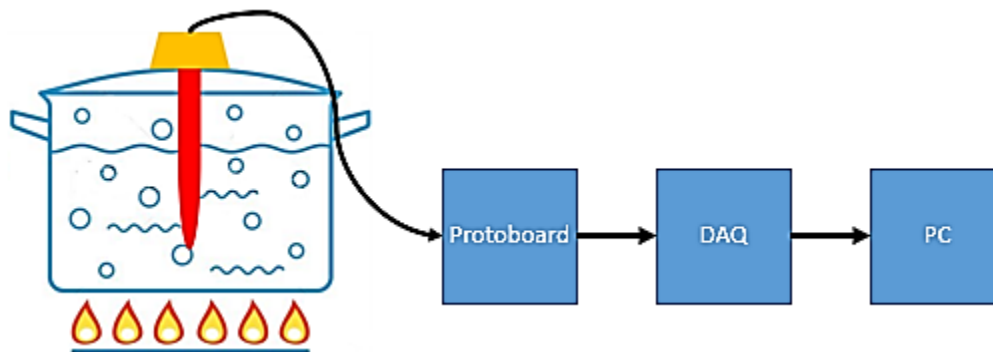


Figura 3.6 – Instalación de termopar

Los termopares transmiten sus lecturas en voltajes que van dirigidos a un amplificador de manera que lleguen a un colector de datos (DAQ NI-USB 6003, se menciona más adelante) con la posibilidad de ser interpretados y enviados como datos a la plataforma lectora en el servidor ya mencionado en la solución general. Entonces se puede dar la lectura de la temperatura y la evolución de esta, permitiendo graficar un comportamiento (Diagrama 3.4).

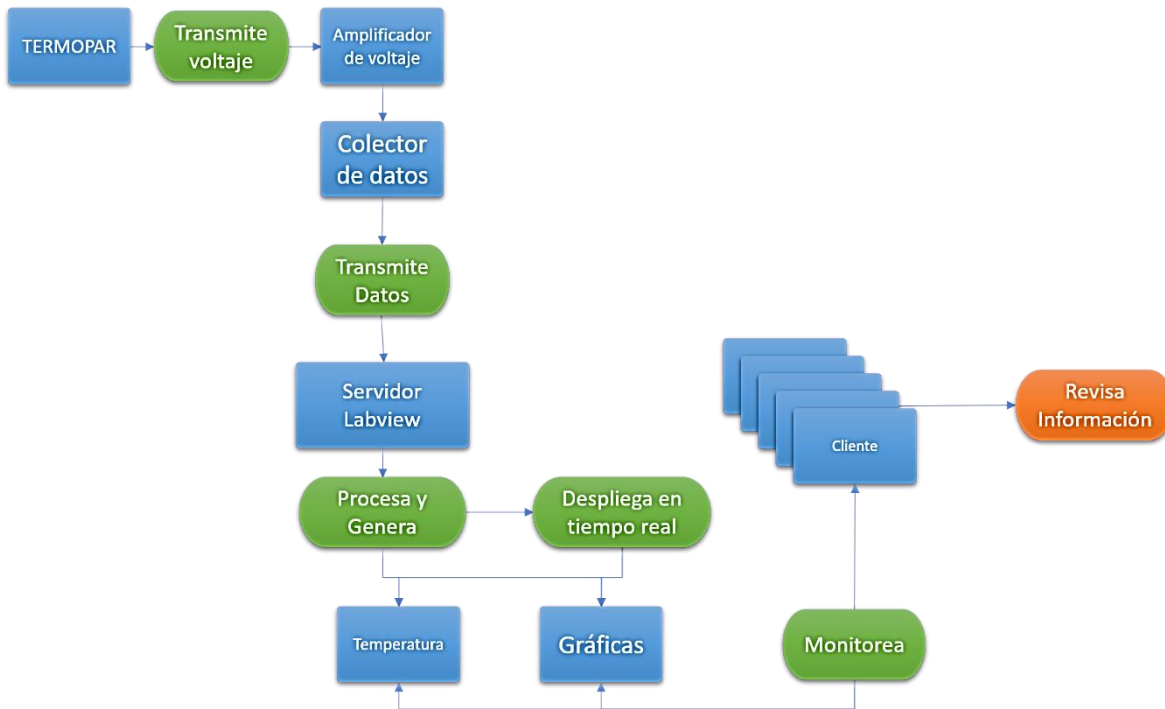


Diagrama 3.4 – Operación de Termopares

Implementaciones adicionales:

- Colector de Datos National Instruments USB 6003 – Permite la captura de datos desde entradas análogas y las envía en formato digital a un equipo de cómputo.
- Montaje universal vertical para sensores con colocación de cableado – Permitirá la colocación autónoma de las cámaras termográficas principalmente, aunque es posible que se utilicen para otros instrumentos.
- Cronómetro – Este puede ser físico o embebido en el sistema para referencia de línea de tiempo, en la ejecución de las evaluaciones.

Otras herramientas existentes en el IIIER:

- Calorímetro Parr 6400
- Báscula digital
- Sensor de humedad de leña

3.1.2 Conectividad Energética.

A continuación, se presenta los diagramas de energización de los principales sensores durante las evaluaciones.

Cámara Termográfica modelos Flir E-60 y Flir E-40 – Se energiza mediante la carga de batería o a través de cable conectado a corriente. La última opción es la más recomendable para la autonomía del sensor durante el periodo de evaluación (Figura 3.7).



Figura 3.7 – Energización de cámaras termográficas

Sensor de emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂), Temperatura del Aire y Humedad Relativa – El sensor TES 1370 se energiza mediante el uso de baterías, o a través de un cable conectado a corriente (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Energización del Sensor de CO₂

Sensor de emisiones de Monóxido de Carbono (CO) – El sensor TES 1372 se energiza mediante el uso de baterías (Figura 3.9).

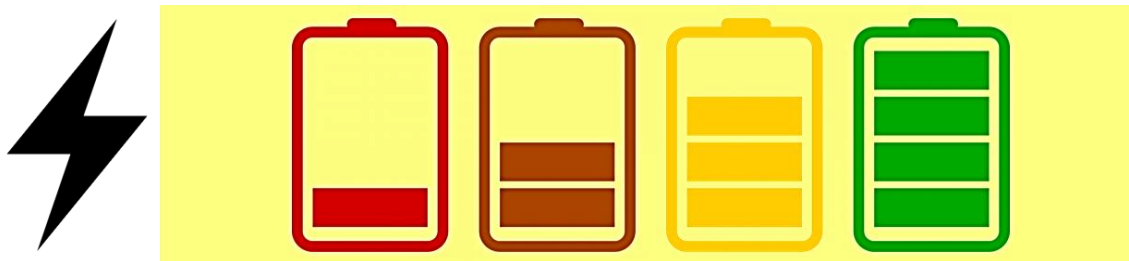


Figura 3.9 – Energización del Sensor de CO

Colector de Datos National Instruments USB 6003 – Se energiza a través del equipo de cómputo al cual se encuentra conectado (Figura 3.10).



Figura 3.10 – Energización del Colector de Datos NI USB 6003

3.1.3 Transferencia de Datos.

La transferencia de datos desde cada sensor es diferente dependiendo del medio de transmisión.

Cámara Termográfica modelos Flir E-60 y Flir E-40 – Los medios de transmisión para este instrumento pueden ser inalámbrico o cableado, es posible extender el rango de conectividad físico implementando conectores de USB a cable UTP (Figura 3.11).



Figura 3.11 – Transmisión de datos desde cámaras termográficas

Sensor de emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂), Temperatura del Aire y Humedad Relativa – El sensor TES 1370 originalmente envía los datos de las lecturas capturadas mediante un cable de Mini Jack de 3.5 mm a Serial DB9. Dado que los equipos de cómputo portátiles hoy en día han ido excluyendo puertos de volumen grande, por la tendencia tanto al almacenamiento en la nube como a la evolución de equipos electrónicos cada vez más delgados y ligeros, se incluyó un adaptador de Serial DB9 a USB para lograr la conectividad con dicho equipo de cómputo (Figura 3.12).



Figura 3.12 – Transmisión de datos del Sensor de CO₂

Con RS232 es posible transmitir hasta una distancia de 15 metros.

Con RS485 es posible transmitir hasta una distancia de 1000 metros (se requiere adaptador).

Colector de Datos National Instruments USB 6003 – Se transmiten los datos capturados a través del mismo cable que le proporciona energía (Figura 3.13).

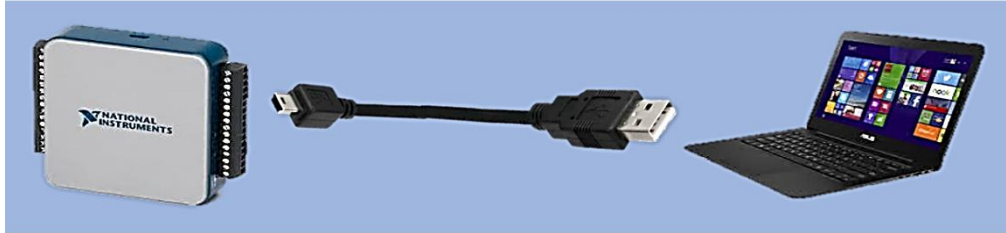


Figura 3.13 – Transmisión de datos del DAQ NI USB 6003

Termopares – Se transmite un voltaje muy pequeño del orden los milivolts el cual aumenta con la temperatura aplicada en el extremo del termopar. Los milivolts deben pasar por un circuito que amplifique el voltaje para que puedan ser leídos por el colector de datos, el cual, los transmite finalmente al equipo de cómputo como valores de temperatura (Figura 3.14).

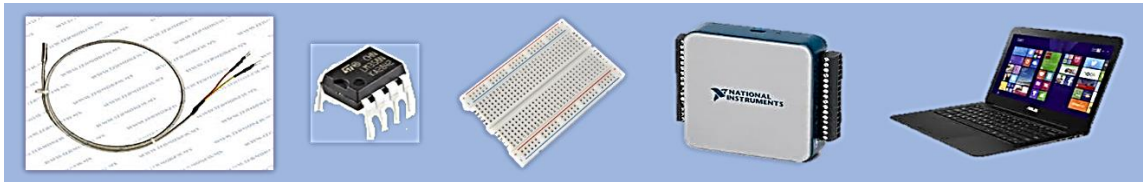


Figura 3.14 – Transmisión de datos del termopar

3.1.4 Software.

A continuación, se mencionan los softwares de **Desarrollo**:

- Solid Works – Se utiliza para el diseño de las estructuras de soporte de los sensores cableados.
- LabView – Se utiliza para el desarrollo de la plataforma en común y de la interfaz con el usuario, permitiendo capturar los datos de los sensores que estén conectados al colector de datos.

A continuación, se mencionan los softwares de **Interacción con el Usuario**:

- LabView – Se genera una aplicación stand-alone para la ejecución de la captura de datos en tiempo real.
 - Flir Tools+ 6/Report Studio – Herramienta de monitoreo propietario para cámaras termográficas E60 y E40. Se puede encontrar el manual en:
 - http://support.flir.com/DocDownload/Assets/dl/t810209-en-us_a4.pdf
- Así como un video de entrenamiento en:
- <https://www.youtube.com/watch?v=1Gxgu6nykoY&list=>
- Para la recreación de gráficos se pueden utilizar softwares que permitan la lectura de datos en crudo tales como Microsoft Excel u otros especializados que permita la importación de datos a conveniencia del investigador.

A continuación, se sugiere software de **Conectividad Remota**:

- TeamViewer – Software de visualización y control de equipos de cómputo a distancia para participantes adicionales que no se encuentren en sitio de la evaluación permitiendo la integración de colaboradores a distancia.

3.2 Construcción y ensamble del Sistema de Monitoreo de Evaluación de Estufas Ecológicas (SIMEEE).

Estructura

Se lleva a cabo la construcción y ensamblado de la estructura de soporte para cámara termográfica (Figura 3.15).

1. Base del soporte (0.46 x 0.41 metros).
2. Soporte vertical sobre el cual se colocará diferentes sensores a altura variable (1.43 metros).
3. Módulo para fijar la altura de la cámara a lo largo del soporte vertical.
4. Módulo para fijar el ángulo de orientación de la cámara.

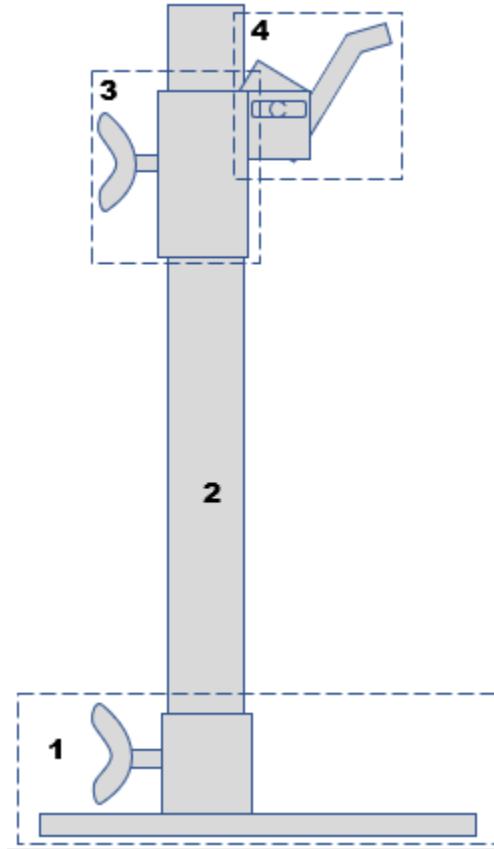


Figura 3.15 – Prototipo de base modular para cámara termográfica

Integración de los sensores

Las Cámaras Termográficas FLIR E40/E60 – Se sostendrán de la estructura de manera que se ubique a la altura de conveniencia definida por el técnico evaluador y dirigida al área de la estufa ecológica de interés para la evaluación. Se conectará físicamente mediante el cable USB al servidor para mostrarse en la plataforma de LabVIEW, y así mismo, su cable para alimentación eléctrica.

El termopar – Se colocará de acuerdo a lo definido por el protocolo de Ebullición del Agua. Se conectará a su amplificador de voltaje AD594, el cual transmite el voltaje amplificado al colector de datos National Instruments USB 6003, dicho colector envía los datos al servidor para mostrarse en la plataforma de LabVIEW.

El sensor de CO2 – Se colocará a conveniencia de la evaluación, según defina el evaluador técnico, ya que estas lecturas están dirigidas al entorno donde se encuentra la estufa ecológica y no a la emanación directa de gases que genera por

sus conductos. Se conectará mediante su cable USB el cual llega directo al servidor para entregar los datos a mostrarse en la plataforma de LabVIEW.

Se configura de Sistema Virtual de Adquisición y Procesamiento de Datos.

- Ingresar los datos de inicio de la prueba tales como Nombre de Evaluador, Identificador de la prueba, Fabricante de la estufa, Laboratorio, entre otros.
- El técnico evaluador debe contar con todo el material necesario, según el protocolo que seguirá para que el “periodo de fondo” inicie al menos 1 minuto después de que el Sistema de Monitoreo para la Evaluación de Estufas Ecológicas comience a registrar, de manera que se permita a los sensores un tiempo de preparación de registro constante sobre el tiempo real de la duración de la evaluación. Este tiempo puede variar, ya que también puede utilizarse el tiempo empleado para el encendido de la estufa, adicional al minuto antes mencionado.
- Durante el monitoreo en tiempo real, el técnico especialista podrá hacer clic sobre un botón para guardar en tiempo exacto, con los fines que a la prueba convengan, en el momento en que las diferentes lecturas son llevadas a cabo.
- Una vez finalizada la prueba, el técnico especialista podrá almacenar la pantalla completa de los datos calculados.

3.2.1 Encendido y Apagado del SIMEEE.

Comience la Prueba de Ebullición del Agua haciendo clic en el botón de Ejecutar. Utilice el cronómetro embebido en la plataforma del Sistema de Monitoreo para la Evaluación de Estufas Ecológicas como referencia ya que estos tiempos se incluirán en automático en las plantillas representativas de la captura de datos del protocolo concerniente a dicha prueba.

Observe periódicamente los niveles de lecturas.

Para finalizar una evaluación, finalice el registro de lecturas en la plataforma, guarde el archivo de datos y salga de la plataforma registradora y gráficas en tiempo real.

3.2.2 Calibración de Sensores.

Cámaras termográficas FLIR E40/E60 – Estas cámaras cuentan con la opción de calibración a través de su aplicación propietaria.

Termopares – debido al proceso y el material especializados, y la variedad de estos, que se requieren para la calibración de este sensor se sugiere solicitar a una institución certificada que realice la calibración.

3.2.3 Procesamiento de Datos.

Existen diferentes tipos de datos:

- Datos informativos que son ingresados manualmente por el evaluador técnico.
- Datos informativos que proporcionan características de elementos de la evaluación que también son indicados al principio de la evaluación por el técnico evaluador.
- Datos capturados por los sensores. La plataforma, al recibir los datos capturados por los sensores, los direcciona a los campos correspondientes para el llenado de la plantilla de las pruebas para su posterior procesamiento.

Durante la evaluación, los datos leídos por los sensores son desplegados en tiempo real en una evolución sobre el tiempo a través de gráficas tabuladoras. Esto permite contrastar unidades de medición de interés para el evaluador, y permite una toma de decisiones mediante el análisis sobre el comportamiento de los datos.

3.3 Validación del Sistema de Monitoreo de Evaluación de Estufas.

Se validará el SIMEEE de lo particular a lo general, es decir, partiendo de la funcionalidad de cada componente, su interacción con el resto del SIMEEE, el funcionamiento del SIMEEE en su totalidad, y sus resultados serán comparados

contra el sistema tradicional de evaluación. A continuación, se detalla cómo se llevará acabo:

- De la infraestructura de Hardware completa para validar la operación.
- De la captura de datos para validar la operación del Colector de Datos.
- De la lectura de datos a través de LabVIEW para validar su operación.
- Del procesamiento de datos de acuerdo a los protocolos y metodologías de evaluación para validar el procesamiento de la información.
- Se comparará la evaluación completa del SIMEEE vs la forma tradicional de aplicar las pruebas, de acuerdo a los protocolos y metodologías de evaluación, para validar el comportamiento del sistema en operación utilizando la misma estufa para la prueba de comparación, pero diferentes estufas para distintas pruebas completas.

3.3.1 Evaluación de Plantilla de Alianza Global.

Se validará la completa y correcta colección de datos, y su exportación para almacenamiento. Se compararán los cálculos obtenidos en el SIMEEE contra los cálculos realizados por la plantilla de la Alianza Global a partir de los mismos datos de ingreso.

3.3.2 Captura de Datos en Disco.

Se validará que los archivos generados sean legibles después de haber sido almacenados en el servidor.

3.3.3 Evaluación de Procesamiento de Datos.

Se validará que las gráficas se desplieguen correctamente y mantengan un correcto funcionamiento durante su ejecución en tiempo real.

Conclusiones

El objetivo principal es incluir en la medida de lo posible la infraestructura existente en la plataforma del Sistema de Monitoreo para la Evaluación de Estufas Ecológicas. Sin embargo, es importante destacar que la adquisición de esta instrumentación no fue pensada para su incorporación a un sistema donde deban trabajar en conjunto con otros instrumentos y se haya tomado en cuenta características como:

- Compatibilidad
- Acceso a los datos
- Comunicación con los dispositivos
- Interacción con los dispositivos
- Medios de transmisión
- Formato de los datos

Siendo todos estos atributos importantes para la integración de un monitoreo centralizado. Ya que de manera distribuida cada sensor puede ser monitoreado a través de su propia aplicación. Por lo que se realiza un mejor esfuerzo para la integración de dicha infraestructura existente.

Ahora en términos de procesamiento de datos, resulta enriquecedor contar con evaluadores experimentados que contribuyan a la generación de ideas para la visualización y cruce de datos, con la intención de aprovechar la ventaja del cálculo computacional de estos para generar información adicional de conveniencia para el investigador.

Capítulo 4.
Resultados del Sistema de Monitoreo para la
Evaluación de Estufas Ecológicas

Tabla de contenido

Capítulo 4. Resultados del Desarrollo del SIMEEE	129
4.1 Pruebas y validación de la infraestructura de Hardware	130
4.2 Validación de lectura de datos a través de LabVIEW	137
4.3 Validación del procesamiento de datos	139
4.4 Metodología de Ejecución del SIMEEE en evaluaciones	139
4.5 Resultados de la evaluación a estufas	144
Conclusiones	147
Trabajos futuros	147

Capítulo 4. Resultados del Sistema de Monitoreo para la Evaluación de Estufas Ecológicas

El principal objetivo de este proyecto ha sido el desarrollo de un Sistema de Monitoreo para la Evaluación de Estufas Ecológicas mediante el uso de la instrumentación existente en el IIIER y adecuaciones necesarias para incluirlos en un sistema que permita la captura y procesamiento de datos, y visualización en tiempo real para con ello tener como resultado datos e información precisos, así como mejorar la calidad y reducir la intervención de los técnicos especialistas en las evaluaciones a las estufas. Este trabajo es el primero en su tipo en el Estado de Chiapas y así mismo es el primer paso para la integración de infraestructura que facilite la realización de mayor variedad de análisis, así como su complejidad.

En una primera fase se revisó la infraestructura con la que cuenta el IIIER en términos de equipamiento y de instalaciones con el objetivo de conocer su cercanía con el alcance del proyecto que considera protocolos internacionales para la evaluación en laboratorio:

- Conocer el estado del arte existente de equipos e instalaciones.
- Enlistar la infraestructura en estado operacional.
- Clasificar infraestructura con arquitectura abierta a la comunicación.

En una segunda fase se evaluó la plataforma mejor orientada para el desarrollo del software con base a:

- Facilidad de integración de dispositivos de diferentes protocolos.
- Facilidad de integración de dispositivos de diferentes medios de transmisión de datos.
- Soporte para desarrollo.
- Librerías, drivers, y toolkits disponibles.
- Capacidad de procesamiento de datos en tiempo real mediante la sincronización entre las medidas ingresadas y las salidas calculadas.

- Capacidad de diseño de sistemas automatizados, control y monitoreo.
- Capacidad de Integración.

Debido a lo anterior se optó por LabVIEW 2014 para la integración de los dispositivos y generación de controles de monitoreo en tiempo real.

4.1 Pruebas y validación de la infraestructura de Hardware.

Las siguientes pruebas se realizaron con el fin de evaluar las funcionalidades requeridas para las actividades de las evaluaciones de las estufas por los especialistas técnicos.

Cámara Termográfica FLIR E60

<i>Imágenes y datos ópticos</i>		<i>Operacional</i>
Resolución Infrarroja	320 x 240 pixeles	Sí
Enfoque	Manual	Sí
<i>Modos de presentación de imagen</i>		
Modos de imágenes	Imagen IR, Imagen Visual, MSX	Sí
<i>Medición</i>		
Rango de temperatura	-20 °C a 120 °C y 0 °C a 650 °C	Sí
Precisión	±2 °C	Sí
<i>Análisis de medición</i>		
Área	3 cajas con Max/min/Promedio	Sí
<i>Configuración</i>		
Paletas de colores	Ártico, gris, acero, lava, arcoíris y arcoíris HC	Sí
<i>Almacenamiento de Imágenes</i>		
Almacenamiento de imágenes	JPEG estándar, incluyendo datos de medición, en la tarjeta de memoria.	Sí
Modos de almacenamiento de imágenes	Almacenamiento simultáneo de imágenes en IR, visual y MSX.	Sí

<i>Grabación de video en Cámara</i>		
Grabación de video IR No Radiométrico	MPEG-4 en tarjeta de memoria.	Sí
<i>Flujo de vídeo</i>		
Flujo de vídeo IR Radiométrico	Dinámica completa a PC mediante USB	Sí
Flujo de vídeo IR Radiométrico	Video colorido descomprimido utilizando USB	Sí
<i>Interfaz de comunicación de datos</i>		
Wi-Fi	Punto a Punto (adhoc) o infraestructura (red).	No se logró conexión
Tarjeta SD	Una ranura de tarjeta para tarjetas de memoria SD removibles.	Sí
Bluetooth	2402–2480 MHz	No se logró conexión
<i>USB</i>		
USB	<ul style="list-style-type: none"> • USB-A: Conecta dispositivo USB externo. • USB Mini-B: Transferencia de Datos hacia y desde la PC/video colorido descomprimido. 	Sí
<i>Sistema de Energía</i>		
Tiempo de operación de batería	Aproximadamente 4 horas	Inferior al rango
Operación AC	Adaptador AC, 90-260 VAC de entrada, 12 V de salida a la cámara.	Sí

Termopar Tipo K

Estado Funcional

Circuito electrónico para comunicación con termopar y NI DAQ

Se utiliza un circuito electrónico Amplificador AD594QAQ. Es un completo amplificador de instrumentación y termopar compensador de unión fría en un chip monolítico. Combina una referencia de punto de hielo con un amplificador pre-calibrado para producir una salida de alto nivel ($10 \text{ mV} / ^\circ \text{C}$) directamente desde una señal de termopar. Las opciones de fijación de pines permiten su uso como un amplificador-compensador lineal o como un controlador de punto de ajuste de salida conmutada que usa control de punto de ajuste fijo o remoto. Puede utilizarse para amplificar su voltaje de compensación directamente, convirtiéndolo así en un transductor Celsius independiente con una salida de voltaje de baja impedancia. La conexión básica para seguir es la siguiente:



Figura 1. Amplificador AD594QAQ

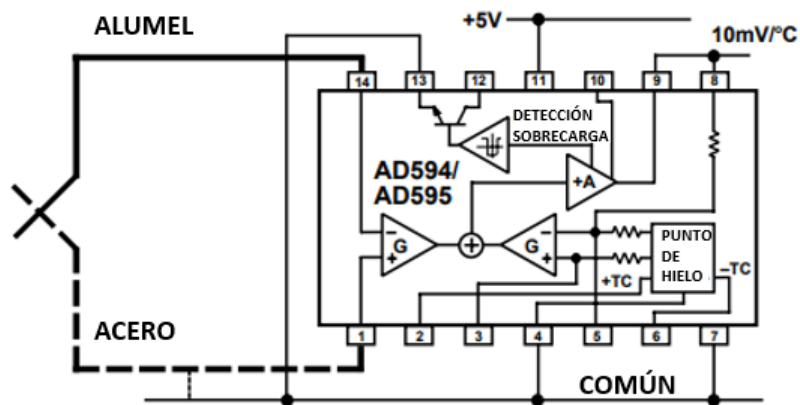


Figura 2. Diagrama de conexión básico del Amplificador AD594QAQ

Las conexiones del circuito:

- Primeramente, es la alimentación del acondicionador lo cual tomamos los 5 volts de la Fuente que nos entrega el DAQ, el positivo con el cable rojo y el negativo con el cable naranja, esto a manera de que el acondicionador se encuentre activado.
- En los pines 1 y 14 del acondicionador conectamos la entrada del termopar, y se logra la lectura de la señal a 10 Mv, la cual ahora es amplificada por el acondicionador.
- En los pines 8 y 9 del acondicionador se hace un puente entre uno y otro, ya que será la salida de la lectura.
- Se utiliza el puerto analógico 0 del DAQ para la lectura de los 10 Mv, esto a manera de tener una mejor toma de lectura ya que es oscilante, y se realiza una conversión en la interfaz de LabVIEW para mostrar datos en unidades de temperatura.

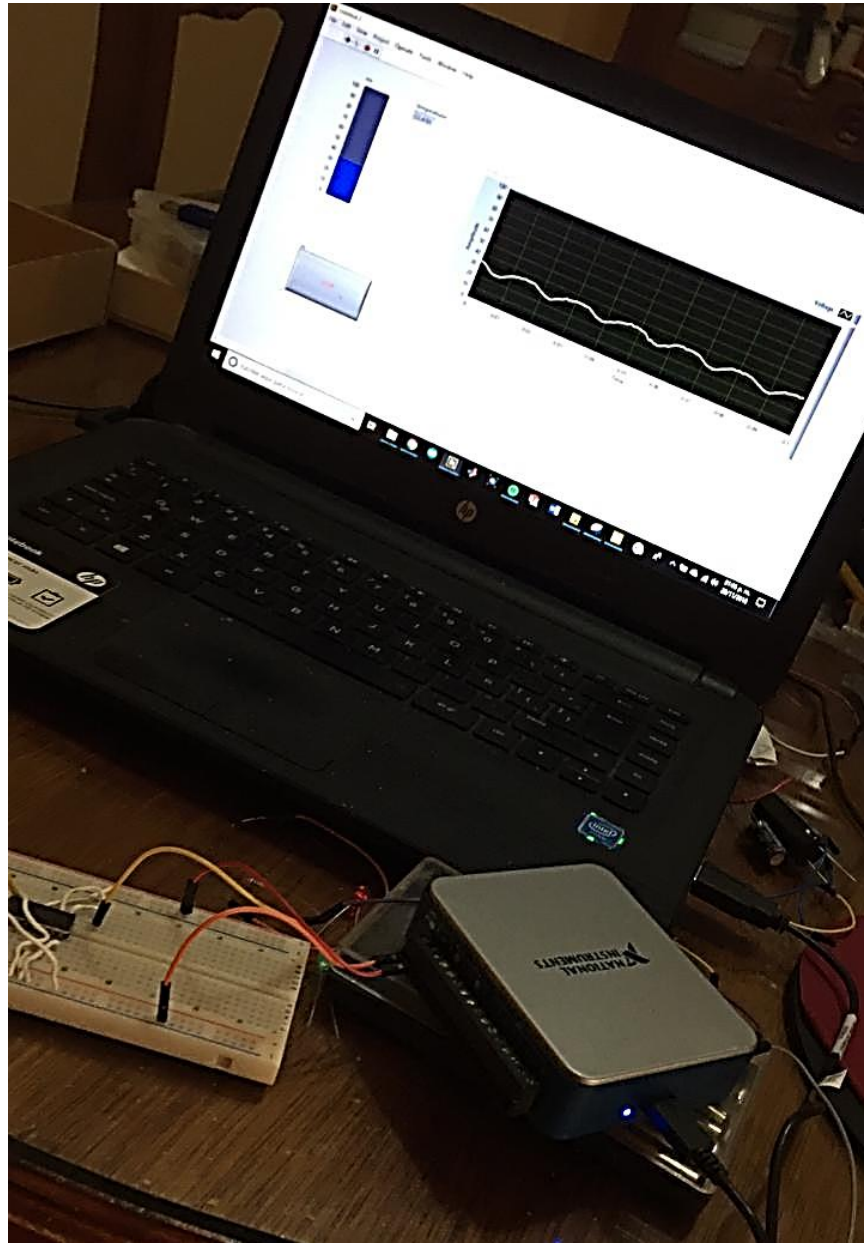


Figura 3. Interconexión de Circuito Electrónico, DAQ y computadora mostrando monitoreo de termopar en tiempo real.

Soporte modular para cámara termográfica FLIR E60

Se fabricó un soporte compuesto por 4 módulos principales para sostener a la cámara FLIR E60 a lo largo de las evaluaciones y también de esta misma manera facilitar su transporte.

Módulo 1 – Base de forma cuadrada de dimensiones de 0.41 x 0.46 metros.

Módulo 2 – Poste para colocar la cámara a la altura deseada de 1.43 metros.

Módulo 3 – Módulo deslizable que permite a la cámara subir y bajar para alcanzar la altura deseada en la evaluación.

Módulo 4 – Módulo giratorio que sostiene a la cámara termográfica y de esta manera sea colocada en el ángulo deseado.

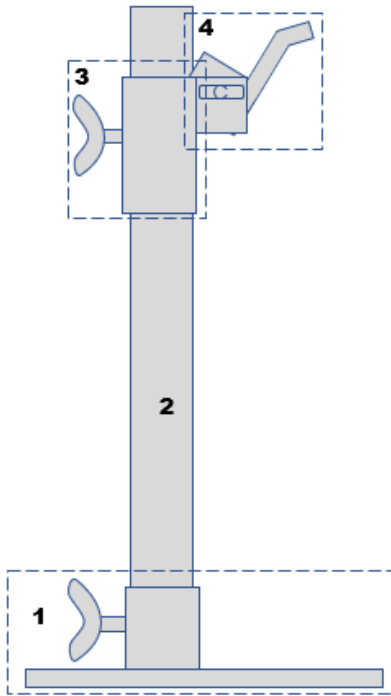


Figura 4. Diagrama prototipo final del soporte modular para cámara termográfica FLIR E60

La pieza fabricada se muestra a continuación.



Figura 5. Soporte modular para cámara termográfica FLIR E60

Sensor de CO2

Sensor diseñado para monitorear niveles interiores de dióxido de carbono. Sus óptimas características permiten su integración al SIMEEE:

<i>Característica</i>	<i>Operacional</i>
Bajo consumo de energía.	Sí
2 mediciones por segundo.	Sí
Comunicación Serial Estándar de la Industria.	Sí

4.2 Validación de lectura de datos a través de LabVIEW

Cámara Termográfica

Se logró la visualización en tiempo real de la temperatura acompañada del video infrarrojo radiométrico que muestra las áreas calientes del objeto de evaluación. Es necesario definir los parámetros de comunicación para establecer la comunicación con la cámara.

- Tipo de Cámara – FLIR Exx Series
- Interfaz – UVC
- Dispositivo – USB Video
- Puerto - 3

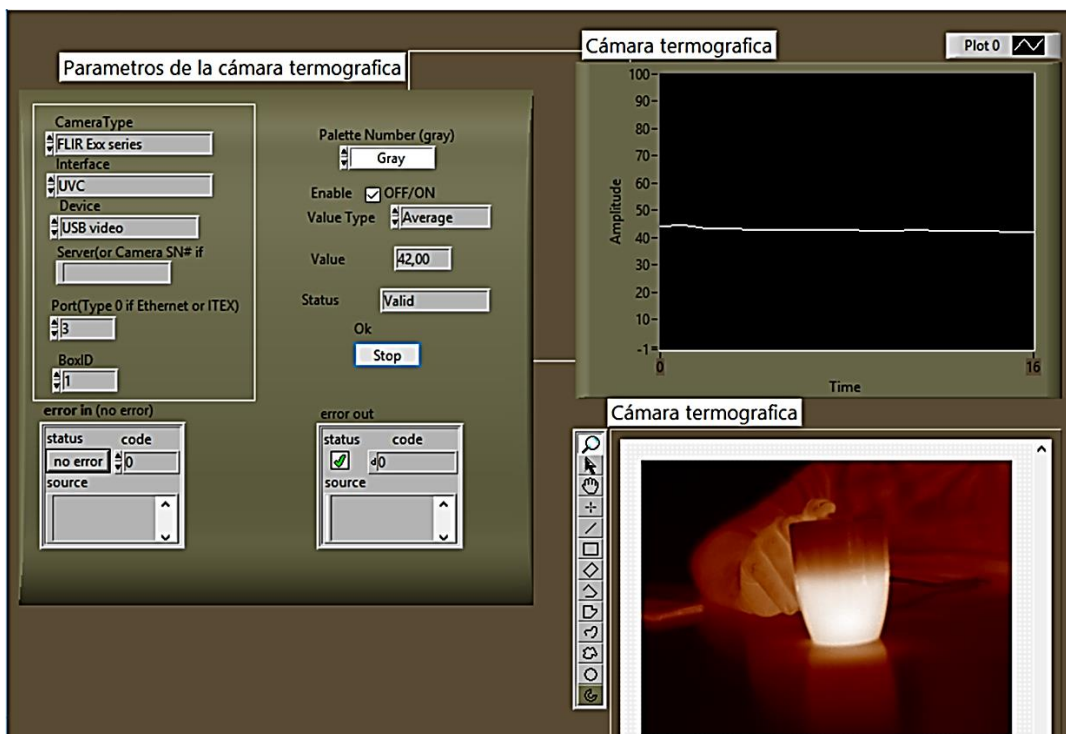


Figura 6. Monitoreo de FLIR E60 desde el SIMEEE

Termopar

En la siguiente imagen se muestra en la interfaz gráfica del SIMEEE la lectura de temperatura desde el termopar realizando variaciones intencionales para validar su despliegue en tiempo real.

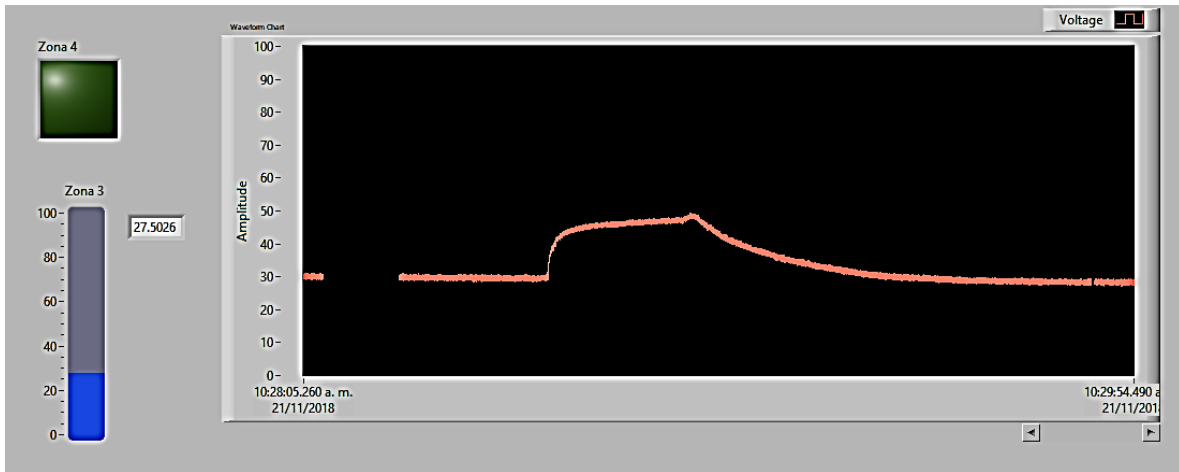


Figura 7. Soporte modular para cámara termográfica FLIR E60

A lo largo del avance del proyecto se realizaron cambios en la estética de la interfaz gráfica y se adicionó la funcionalidad en términos de seguridad donde al alcanzar una temperatura de 40 °C se enciende el LED indicador en ROJO alertando al evaluador sobre la temperatura alcanzada y/o superada.



Figura 8. Gráfica de Termopar en tiempo real corriendo con cámara termográfica

Sensor de CO2

A continuación, se muestra la evidencia de registro de lectura por parte del sensor mediante el ejercicio de combustionar un cerillo en un envase de vidrio para disparar el CO2, y al retirarlo del interior la lectura desciende.

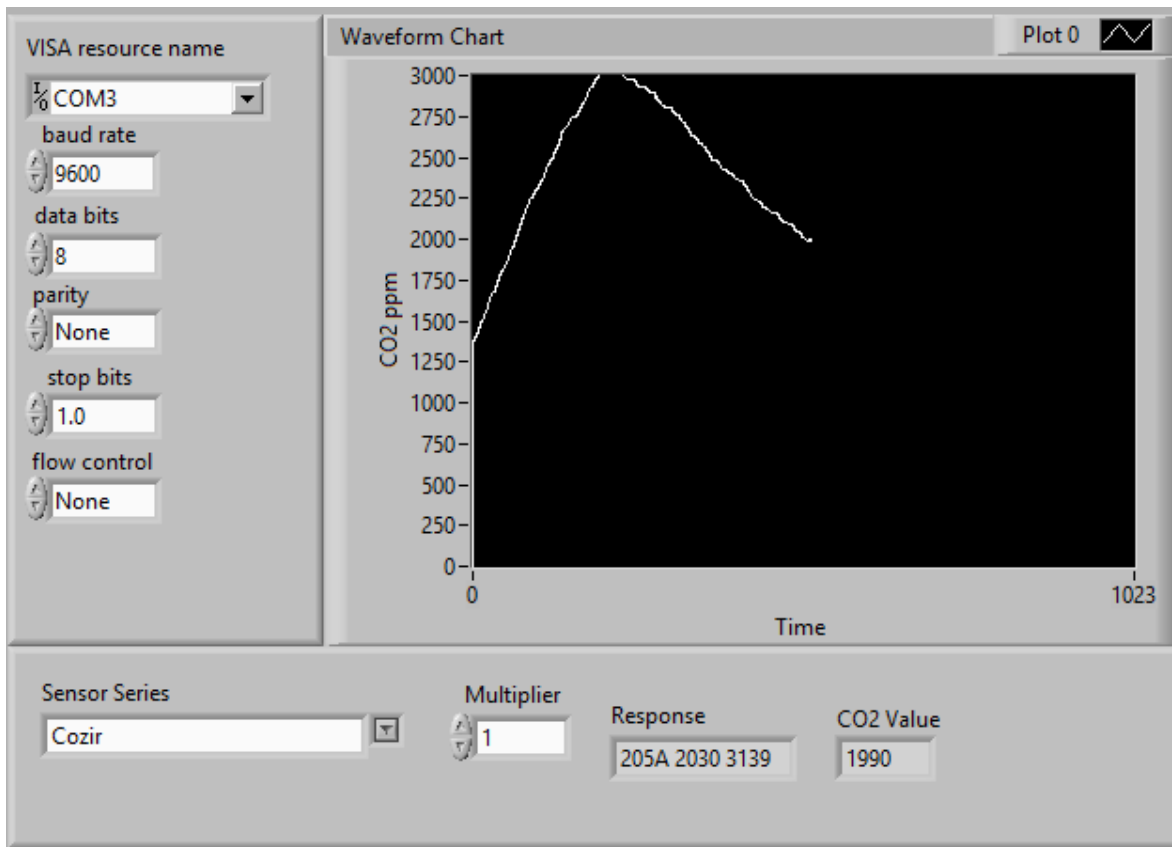


Figura 9. Sensor de CO2 en tiempo real

4.3 Validación del procesamiento de datos

Se compararon los resultados calculados por el SIMEE contra los resultados calculados por la hoja de cálculo utilizada por la Alianza Global de Estufas Ecológicas. De tal comparación se obtuvieron resultados inclusive con un grado mayor de exactitud por parte del SIMEEE.

4.4 Metodología de Ejecución del SIMEEE en evaluaciones

Ubicar cada uno de los componentes en el lugar requerido de acuerdo a los objetivos de la evaluación definidos por el técnico especialista.

Encendido

Conectar correctamente el cableado de energía y datos.

1. Cámara Termográfica – Se conectará el adaptador AC para energización permanente y el cable de datos USB hacia la computadora o servidor que almacene el SIMEEE.
2. Termopar – El termopar es energizado a través del voltaje que recibe el circuito desde el DAQ, ver figura 9 para su conexión.

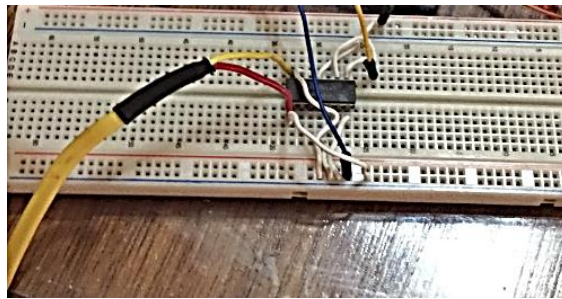


Figura 10. Conexión de Termopar

3. DAQ – Se conecta mediante cable USB a la computadora o servidor.
4. Servidor o computadora dedicada – Conectar el adaptador AC a toma de corriente.
5. CO2 meter – Se enlazará mediante cable USB al servidor o computadora cuidando que los pines sean conectados en el orden en que se muestra en la imagen.



Figura 11. Conexión del Sensor de CO₂

Ejecución del software SIMEEE.

1. Haber realizado previamente el proceso de preparación de los Protocolos Internacionales de Evaluación en Laboratorio para la Prueba de Ebullición del Agua.
2. Ingresar manualmente los datos de alimentación inicial relacionados con la identificación y descripción de la evaluación.
3. Definir la ruta de almacenamiento que utilizará el sistema para almacenar las lecturas en tiempo real.
4. Ejecutar la aplicación del SIMEEE.
5. Esperar 1 minuto para contar con lecturas de los sensores que provean al evaluador información sobre un entorno de evaluación inicial estable.
6. Iniciar los procesos de Ejecución del Protocolo Internacionales de Evaluación en Laboratorio para la Prueba de Ebullición del Agua.
7. De acuerdo con las Fases de la Prueba de Ebullición del Agua se hará clic en los botones de inicio y fin de fase para capturar instantáneamente las lecturas de los sensores.
8. Se respetarán los tiempos y etapas de la Prueba de Ebullición del Agua.
9. Al finalizar la Prueba de Ebullición del Agua se hará clic en el botón de “Generar Reporte”, y opcionalmente se puede esperar 1 minuto, antes de detener por completo el monitoreo del SIMEEE para lograr ahora un entorno de finalización estable, así como tener un punto de referencia estándar del final de evaluación, así como existe uno de inicio de evaluación.
10. Los datos de las gráficas pueden almacenarse haciendo clic sobre cada gráfica y en el menú emergente guardar los datos en crudo que permitirán que sean graficados en una variedad de softwares.
11. La evaluación se graba en LabVIEW yendo a *File – Print...* y se abrirá la ventana que se muestra a continuación, se sugiere utilizar las opciones que se muestran en las pantallas subsecuentes.

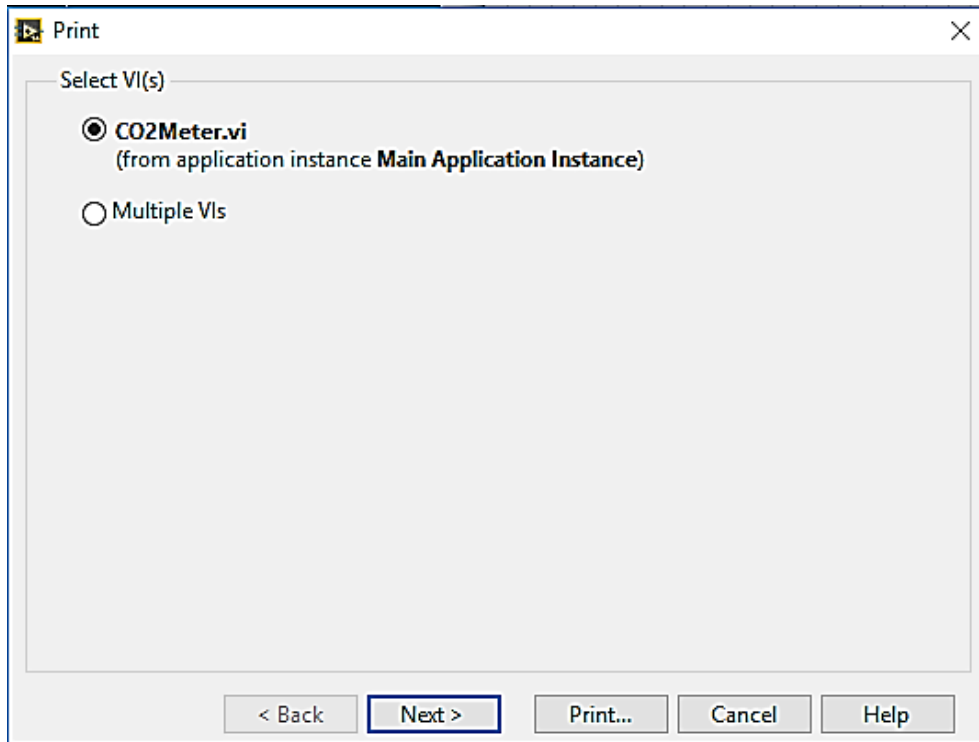


Figura 12-A. Secuencia de imágenes para guardado de evaluaciones.

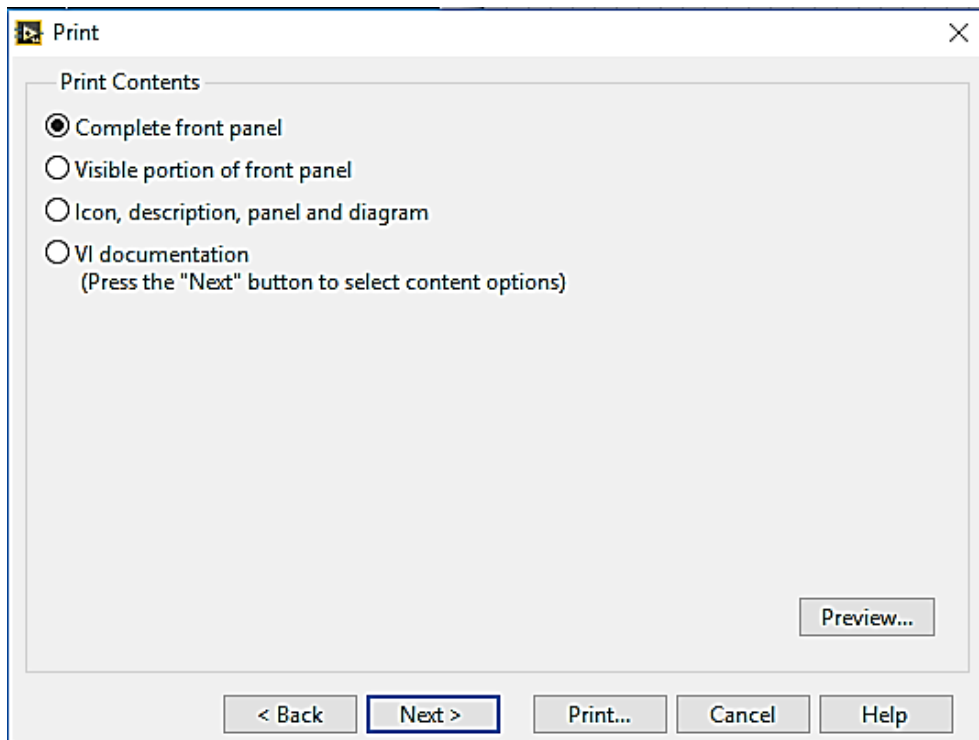


Figura 12-B. Secuencia de imágenes para guardado de evaluaciones.

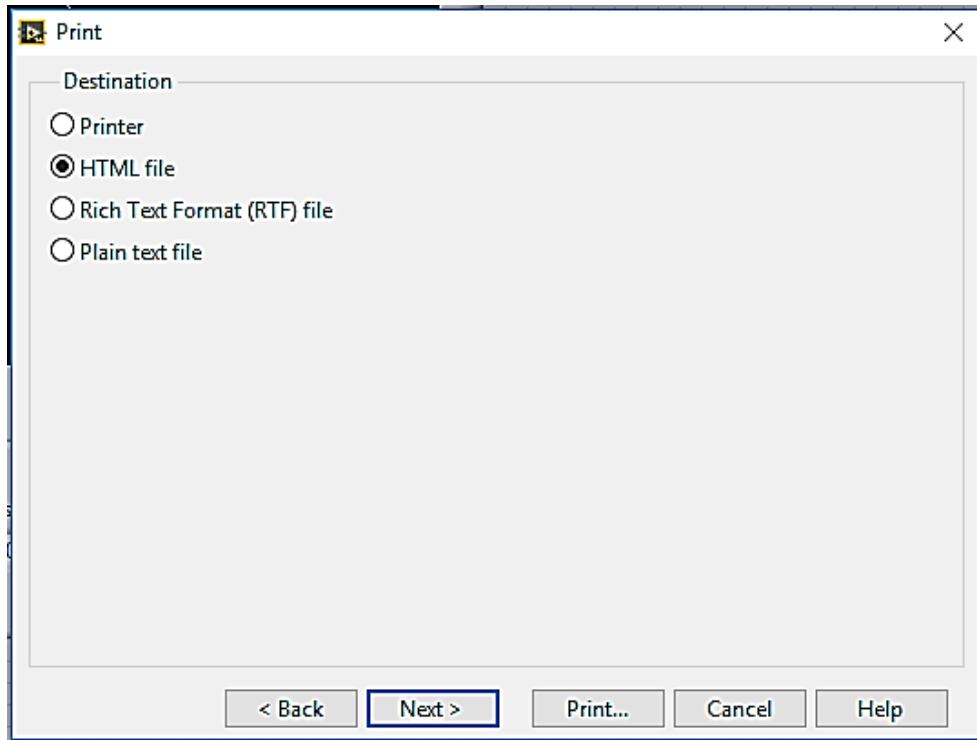


Figura 12-C. Secuencia de imágenes para guardado de evaluaciones.

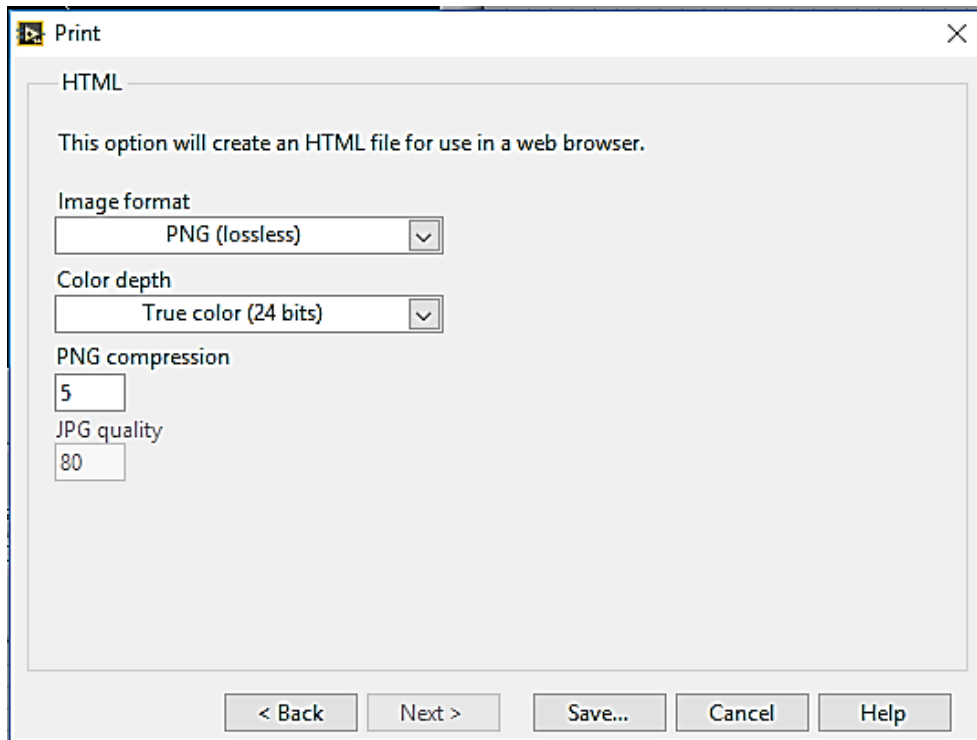


Figura 12-D. Secuencia de imágenes para guardado de evaluaciones.

12. Y finalmente hacer clic en "Save...".

4.5 Resultados de la evaluación a estufas

Escenario 1 – El SIMEEE es instalado y ejecutado de acuerdo con la metodología y se corre en el servidor o computadora.

El SIMEEE se ejecuta con lentitud debido a que el procesamiento computacional requerido no se puede satisfacer por el servidor o computadora, la cual cuenta con un procesador Intel Core i7 de séptima generación y 8 GB en RAM. Esto impacta en los intervalos de la línea de tiempo para la captura de los datos que todos los sensores envían y el SIMEEE procesa al mismo tiempo.

Escenario 2 – El SIMEEE es instalado y ejecutado de acuerdo con la metodología y se corre desde dos servidores o computadoras. Uno dedicado al procesamiento y comunicación de los datos provenientes de la cámara termográfica, y otro servidor dedicado al resto de los sensores, el termopar y al sensor de CO₂.

El SIMEEE se ejecuta a velocidad aproximada de captura por segundo debido a que el procesamiento computacional requerido se dividió al colocar el monitoreo desde la cámara termográfica en una computadora dedicada y al resto de los sensores en otro equipo dedicado. Esto impacta en los intervalos de la línea de tiempo para la captura de los datos que todos los sensores envían y el SIMEEE procesa al mismo tiempo permitiendo visualizar las gráficas de manera más continua y una interacción con el software sin que este se bloquee.

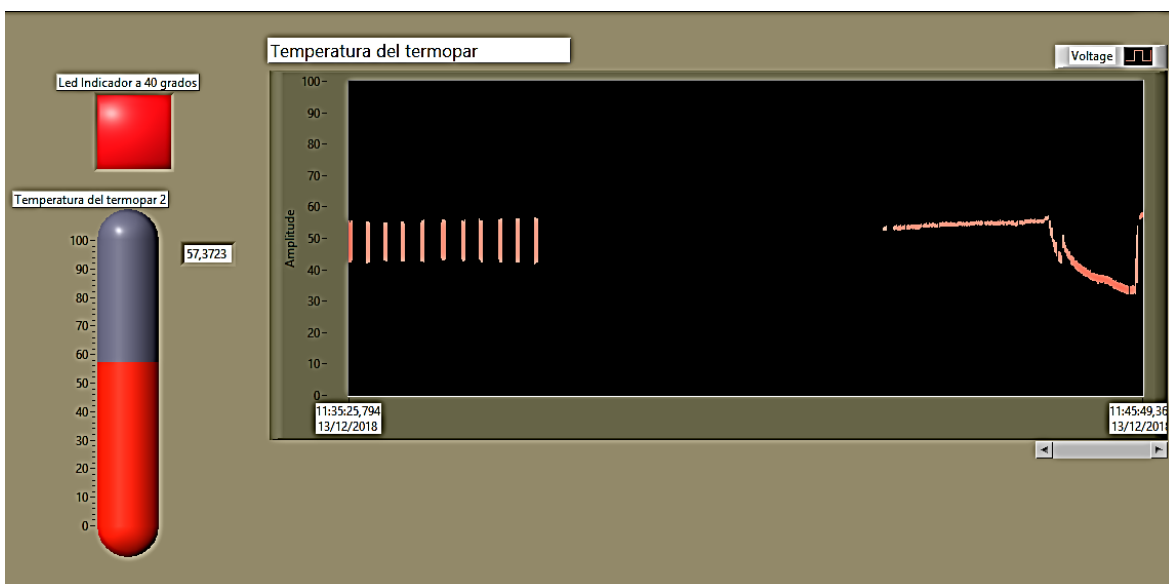


Figura 13-A. Lecturas del Escenario 1 del lado izquierdo, Lecturas del Escenario 2 del lado derecho para el termopar.

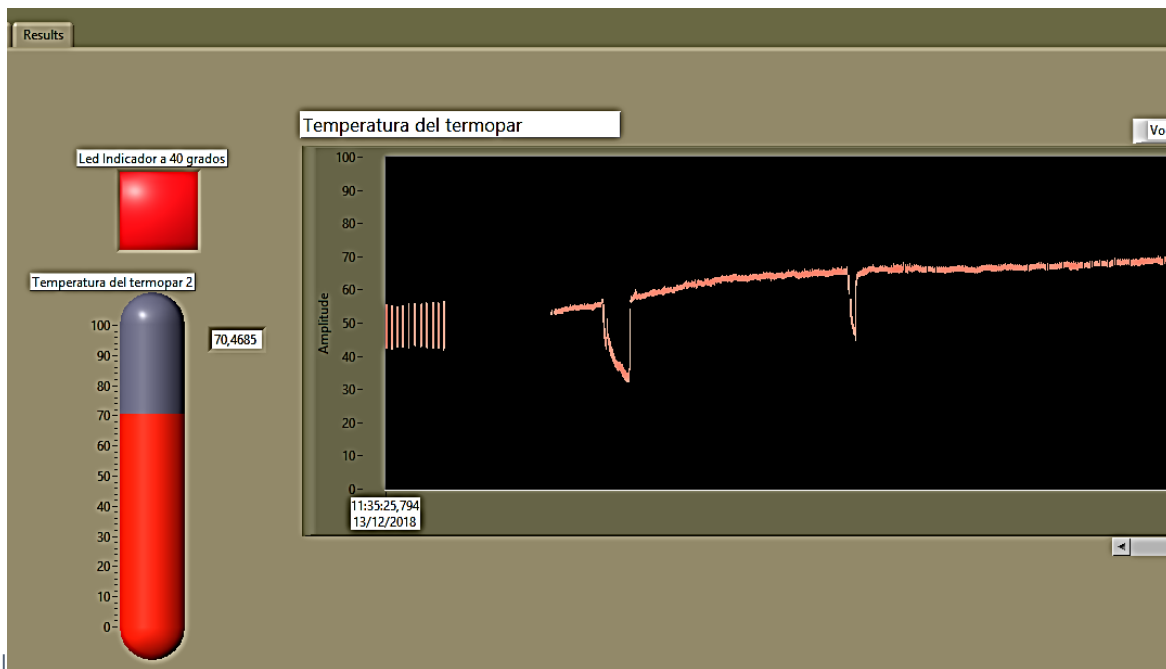


Figura 13-B. Lecturas del Escenario 1 del lado izquierdo, Lecturas del Escenario 2 del lado derecho para el termopar.



Figura 14. Lecturas del Escenario 1 del lado izquierdo, Lecturas del Escenario 2 del lado derecho para el termopar (superior) y sensor de CO₂ (inferior).

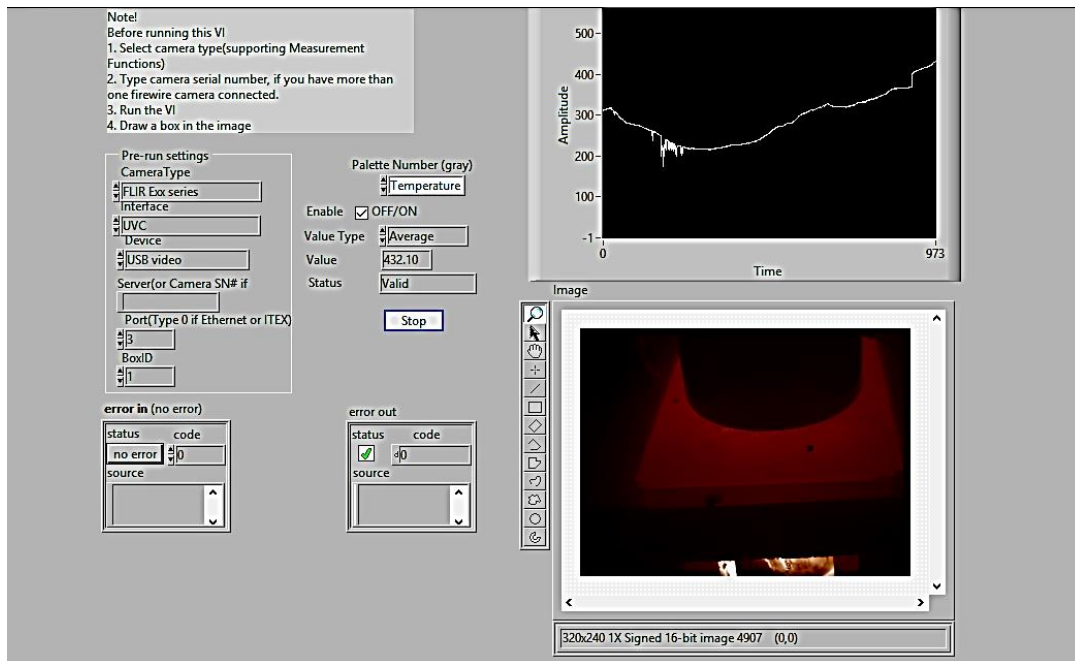


Figura 15. Lecturas del Escenario 2 para la cámara termográfica

Para almacenar los datos de cualquier gráfica sólo es necesario hacer clic en ella y almacenar los puntos. Una vez hecho lo anterior los puntos se guardan en un archivo crudo que permitirá graficarse varios y diversos softwares.

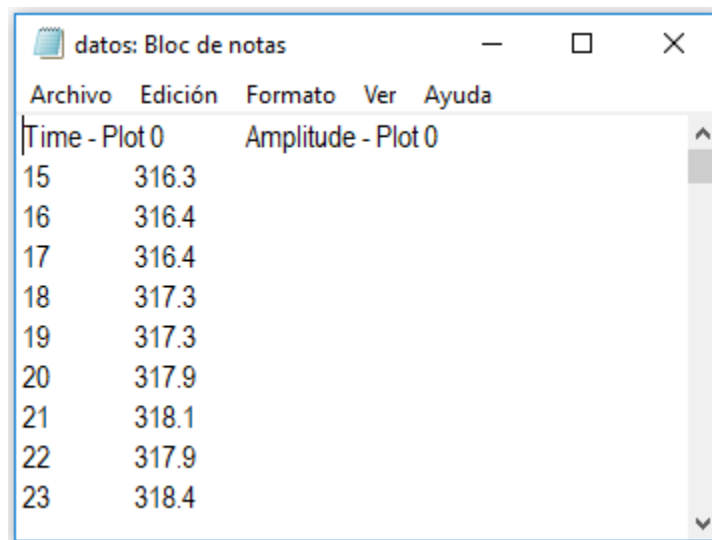


Figura 15. Ejemplo de almacenamiento de datos de gráfica de la cámara termográfica.

Conclusiones

Este proyecto es el primer paso para que el IIIER y sus técnicos especialistas cuenten con infraestructura que les permita realizar evaluaciones a estufas utilizando datos con un mayor grado de precisión en las mediciones e inclusive disminuya los riesgos durante estas evaluaciones. Gracias a esto se impactará en la sociedad con estufas que cuenten con diseños mejorados y mayores eficiencias logrando beneficios a la salud y en la calidad de vida de quienes frecuentan estos dispositivos de diferentes modelos, e inclusive con un mayor grado de certidumbre para retirar del alcance de la población estufas que se demuestre un grado mayor de daños a la salud que los beneficios que se supone deben entregar.

- Se logró monitorear la evaluación de WBT a estufas ecológicas, pero se requiere de un equipo de cómputo con características superiores para que la ejecución del programa se de a una velocidad en tiempo real. Alternativamente se podría modularizar el Sistema en dos equipos de cómputo para dedicar uno de ellos a la cámara termográfica la cual es la de mayor consumo.
- Se logró la visualización de la temperatura en tiempo real del agua durante la prueba del WBT.
- Se logró la visualización de la temperatura en tiempo real del comal lo cual permite conocer el comportamiento de la combustión dentro de la cámara.
- Se logró la visualización del video infrarrojo radiométrico de la estufa, permitiendo al técnico especialista observar el comportamiento por áreas e identificar las de mayor aprovechamiento de la energía.
- Se logró la visualización de los niveles de CO₂ en tiempo real.
- Se alcanzó satisfactoriamente los objetivos de funcionamiento del SIMEEE.
- Se sugiere invertir en equipos de cómputo superiores y/o dispositivos con compatibilidad y apertura de arquitectura que permita su inclusión en el SIMEEE para enriquecer las posibilidades de esta plataforma.

Trabajos futuros

- ❖ Invertir en la integración de una mayor y más variada cantidad de sensores que enriquezca las funcionalidades para las cuales ya está preparado el SIMEEE.

- ❖ Diversificar las aplicaciones del SIMEEE a otros Sistemas Energéticos.
- ❖ Incrementar los indicadores de seguridad para un entorno seguro de evaluación que los mismos sensores provean a través de sus lecturas, como por ejemplo altas temperaturas en ambiente y componentes de las evaluaciones (estufa, olla, agua, etc.) así como de las características del entorno como las emisiones de acuerdo con el previo establecimiento de niveles permisibles para la presencia de quien realice evaluaciones.
- ❖ Integrar las lecturas desde una báscula para el peso del combustible sólido.
- ❖ Desarrollar un sistema y metodología propios para la recopilación de datos, así como el estudio de las diferentes emisiones para las cuales el sistema ya está preparado en función de lo establecido por la Alianza Global de Estufas Ecológicas.