

Proyecto Energía, Desarrollo y Vida ENDEV/GIZ



Informe Técnico

Evaluación de las emisiones producidas por mecheros a diesel (SO₂, PM_{2.5}, CO₂) tradicionales

Técnico Responsable de la Evaluación:
Verónica J. Pilco Mamani

Lugar: Laboratorio del SENCICO – Lima

Fechas: del 04/03 al 13/03/2013



1. INTRODUCCION

A nivel mundial existen según la OECD aproximadamente 1,400 millones de personas sin acceso a la energía eléctrica (IEA 2010). De este número se estima que 500 millones de personas utilizan aún combustibles fósiles para iluminarse, entre éstos principalmente el kerosene (Lam et al., 2012). En el caso peruano existen aproximadamente tres millones de personas sin acceso a energía eléctrica (MEM 2013), muchas de las cuales utilizan velas y pilas para iluminarse. A diferencia de otros países en vías de desarrollo, en el Perú no existen muchas personas utilizando mecheros con kerosene, debido a que el uso de este combustible ha sido prohibido por ley desde el año 2010 por su utilización en el narcotráfico. Sin embargo existen muchas familias, sobre todo en el área rural de la selva, que han sustituido el kerosene por el diésel, utilizando mecheros con este combustible.

Si bien es cierto se conocen estudios señalando la distribución del material particulado emitido según su tamaño (Apple et al., 2010), este informe quiso analizar además del material particulado $PM_{2.5}$, el nivel de emisiones de otros contaminantes propios de combustibles líquidos como lo es el dióxido de azufre SO_2 . Así mismo se evaluaron las emisiones de monóxido de carbono CO y dióxido de carbono CO_2 , debido a que existe una creciente literatura respecto a la contaminación intradomiciliaria de estos gases por la cocción con leña. Por ello también se analizaron las emisiones de ambas fuentes contaminantes en paralelo, es decir se midieron los niveles de estos cuatro gases durante el funcionamiento de un fogón tradicional y un mechero de diésel. Esto se hizo principalmente porque la gran mayoría de hogares que utilizan mecheros de diésel para iluminarse, cocinan también con leña, exponiéndose sus habitantes - al menos por las noches - a ambas fuentes de contaminación dentro del hogar. De esta manera también se pudo agregar la medición de SO_2 dentro de las emisiones de los fogones tradicionales, que no suele formar parte tradicional en los protocolos de medición diseñados para este campo de investigación.

Es por ello que el Proyecto EnDev, implementado en el Perú por la Cooperación Alemana al Desarrollo – GIZ, en alianza con el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), decidieron realizar el presente informe para contar con información cuantitativa en el país sobre esta problemática. En este sentido en las pruebas únicamente con mecheros de diésel evidenciaron que la concentración de dióxido de azufre emitida por un mechero tradicional, sobrepasa hasta en siete veces el límite permitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Así mismo se observó que la concentración de material particulado $PM_{2.5}$ emitida por un mechero de diésel alcanza aproximadamente un 60% de los niveles de emisión de un fogón tradicional. Esto quedó confirmado al notarse un incremento mínimo de 30% en los niveles de $PM_{2.5}$ cuando se comparan las emisiones del fogón

tradicional - como única fuente de polución - con las emisiones de ambas fuentes contaminantes funcionando en paralelo. Un resultado inesperado fue observar que un fogón tradicional como única fuente contaminante alcanza niveles de dióxido de azufre que superan ampliamente los valores permitidos por diversos organismos como la OMS. Este resultado invita a continuar investigaciones de polución intradomiciliaria tomando en cuenta a este gas y sus implicancias para la salud.

2. METODOLOGIA

- Se tuvo como fuentes contaminantes dos mecheros con diferentes tipos de mecha (Tipo A- guaipe y Tipo B- tela) recogidos de hogares usuarios de los mismos en las localidades de San Juan de Abiseo (región San Martín) y Mamallaque (región Amazonas) respectivamente. Ambos mecheros pueden apreciarse en las siguientes fotografías



Foto 1. Mechero tipo A – región San Martín



Foto 2. Mechero tipo B – región Amazonas

- Se realizaron pruebas de concentración de contaminantes intradomiciliarios (CO, CO₂, PM_{2.5} y SO₂) producto de la utilización de dos tipos de mecheros con combustible diésel. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de certificación de cocinas mejoradas del SENCICO en Lima-Perú.¹
- El ambiente elegido cuenta con una tasa de ventilación² de 4.29 h⁻¹, la cual fue determinada con la ventana y puerta cerrada, según recomendaciones del nuevo protocolo de cocinas mejoradas IWA (febrero 2012).

¹ Para mayor información sobre el laboratorio y los protocolos que se realizan favor revisar: Reglamento para la evaluación y certificación de la cocina mejorada.

<http://www.sencico.gob.pe/gin/investigacion/ReglamentoGINCocinasMejoradas.pdf>

² cantidad de volúmenes de aire renovados naturalmente por unidad de tiempo, denominado aquí como α [h⁻¹].

- Durante los ensayos realizados para cada tipo de prueba se homogenizaron variables como: hora de inicio y fin de la pruebas, ambiente, combustible (diesel y leña), técnico evaluador y el nivel aproximado de luminosidad emitida por los mecheros.
- Se evaluaron los niveles de concentración de los contaminantes antes mencionados emitidos por cada tipo de mechero durante 3 días consecutivos en horarios similares respectivamente (D1-D6)³. El detalle de las actividades se pueden apreciar en la siguiente tabla N°1.

Tabla N° 1: Descripción de las pruebas efectuadas con los mecheros y fogón tradicional

Días	Horario	Comentarios	
Mechero A D1-D3	8:50 a 9:20	Se aplicó el protocolo de concentración de polución intradomiliaria del SENCICO ⁴ . Se realizó una medición de background de 30 min, antes de iniciar la prueba con el prendido de la fuente contaminante (mechero A y B)	
	Mechero B D4-D6	9:21 a 12:50	Pasados los 30 min, se prendió el tipo de mechero en evaluación durante un periodo de 3.5 horas ⁵ .
	12:51 a 15:00	Después de este tiempo, se cuantifico la existencia aun de contaminantes emitidos por el mechero después de 2 horas de ser apagado el mechero, con la puerta cerrada del laboratorio.	
Fogón tradicional D7-D9 (mañanas)	7:40 a 8:10	30 min. background	
	8:11 a 9:10	Se prende el fogón tradicional durante 60 minutos como el cocinado en un hogar rural	
	9:10 a 11:30	Se deja ventilar el ambiente	
Fogón tradicional y Mechero A D7-D9 (tardes)	11:31 a 12:00	30 min. background	
	12:01 a 13:00	Se enciende fogón tradicional y mechero tipo A	
	13:01 a 15:00	Se cuantificó la existencia aun de contaminantes existentes en el ambiente a 2 horas de ser apagadas los fuentes contaminantes, con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> • D7, con la puerta del laboratorio cerrada • D8, con la puerta del laboratorio semi-abierta • D9, con la puerta abierta de laboratorio Esta prueba de ventilación se realizo para estimar los niveles de exposición de los habitantes durante el descanso nocturno.	

³ D1-D6 hace referencia a días efectuados los ensayos (por ejemplo D1: Día 1 y D6: Día 6) en adelante se definirá en siglas.

⁴ Reglamento de evaluación y certificación de cocinas mejoradas-SENCICO- Anexo 2 y 3.

⁵ Tiempo promedio que las familias en las zonas rurales utilizan el mechero como artefacto de iluminación.

- De manera similar los días D7-D9 se evaluaron las emisiones del fogón tradicional en las mañanas y de éste en paralelo con el mechero más contaminante (tipo A según resultados obtenidos de los ensayos de los días D1-D6) en las tardes. El tiempo de prueba con el funcionamiento de ambas fuentes contaminantes fue de 1 hora.
- Para controlar las variables ambientales que pudiesen influir en los resultados de los ensayos se ha utilizado la Estación Meteorológica Davis Vantage Pro, cuyos resultados se resume a continuación:

Tabla N° 2 Resumen de las condiciones ambientales promedio para las pruebas de mecheros a diésel (D1-D6) y fogón tradicional (D7-D9)

Variables	Mechero tipo A D1-D3 (8:50 – 15:00)	Mechero tipo B D4-D6 (8:50 – 15:00)	Fogón tradicional D7-D9 (Mañana) (7:40 – 9:10)	Fogón tradicional y mechero D7-D9 (Tarde) (11:30 – 15:00)
Temperatura ambiente interna (°C)	32.9 ± 0.4	32.5 ± 1	38.7 ± 0.6	41.9 ± 1.8
Humedad relativa (%)	56 ± 0.6	54.7 ± 2.1	59.9 ± 2.5	42.7 ± 2.0
Velocidad de viento (m/s)	1.2 ± 0.3	1.3 ± 0.1	0.4 ± 0.1	1.2 ± 0.2
Radiación solar W/m ²	578.9 ± 53.9	593.3 ± 56.5	152.0 ± 18.9	476.4 ± 49.5

- Para medir la concentración de contaminantes originados por los mecheros a diesel se ha utilizado los siguientes equipos:
Medidor de Polución de Aire Intra Domiciliario (IAP) segunda generación (2012), calibrado en marzo del 2012, este equipo mide Material Particulado (PM_{2,5}) y Monóxido de Carbono (CO), a continuación se describe las especificaciones técnicas de cada sensor.
 - **Sensor de Monóxido de carbono:**
Tipo: Celda Electroquímica: Rango: 0 – 1000 ppm, Repetibilidad: 2%, Resolución: 1 ppm, Tiempo de respuesta: 30 segundos.

○ **Sensor de Material Particulado**

Tipo: Fotómetro de dispersión de laser rojo, Rango: 0 – 60,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Resolución de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Tiempo de respuesta: 1 segundo

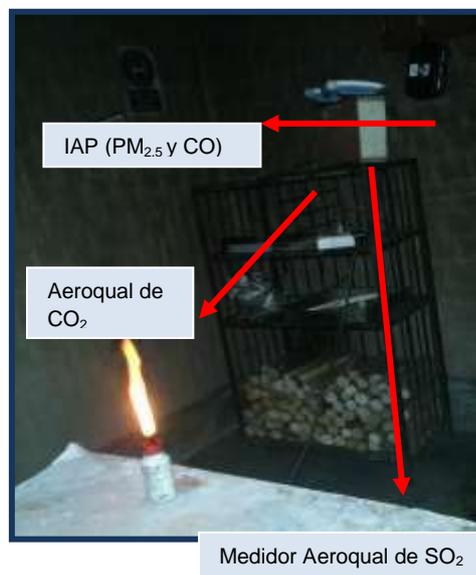
Cuenta con un Software incluido: Microsoft Excel de datos Software de procesamiento. LiveGraph para la representación grafica en tiempo real de salida. Puerto serie de software de comunicaciones para Windows, Mac y Linux.

○ **Aeroqual (SO₂ y CO₂)**, A continuación se detallan las especificacioness técnicas de cada medidor.

- Aeroqual (CO₂), sensor NDIR (Non dispersive Infra red), rango de medición de 0- 5000 ppm, resolución 1ppm. Al realizar las pruebas de mecheros el medidor contaba con 6 meses de uso.
- Aeroqual SO₂, Sensor GSE (Gas Sensitive Electrochemical), rango de medición 0- 15 ppm, resolución de 0.1 ppm. Las pruebas del D1- D9, fueron las primeras pruebas realizadas con este medidor.

Los certificados de calibración de ambos equipos datan a diciembre del año 2011.

○ **Medidores UCB (PM_{2.5})**, Se utilizó para las pruebas de fogón tradicional además del mechero. Debido a que este medidor funcionan incluso a exposición de altas temperaturas⁶.



Las especificaciones técnicas del medidor UCB Particle and temperatura sensor (UCB-PATS) son:

- Rango del medidor: 0-25,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Resolución, 30-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Temperatura de operación: 0-50 $^{\circ}\text{C}$
- Humedad relativa de operación: 0-95%

⁶ Durante las pruebas de la medición de concentración de polución del fogón tradicional y mechero, los picos de temperatura interna alcanzaban un promedio de 46 $^{\circ}\text{C}$, este calor acumulado dentro del recinto de evaluación puede influir en el buen funcionamiento de los equipos utilizados.

Foto 3. Equipos de medición (IAP y Aeroqual)

Para el análisis de datos se considera las hojas de cálculo y software de los equipos utilizados. Además del Microsoft Excel versión 2007.

3. PRINCIPALES CONTAMINANTES EMITIDOS POR LOS MECHEROS A DIESEL Y SUS EFECTOS EN LA SALUD

3.1. DIOXIDO DE AZUFRE - SO₂

El dióxido de azufre SO₂ es un gas incoloro con un olor irritante característico. Este olor es perceptible a diferentes niveles, dependiendo de la sensibilidad individual, pero generalmente se percibe entre 0.3-1.4 ppm y es fácilmente notable a 3 ppm (Baxter, 2000; Wellburn, 1994). El SO₂ en contacto con membranas húmedas forma ácido sulfúrico (H₂SO₄), que es responsable de fuertes irritaciones en los ojos, membranas mucosas y piel (Komarnisky et al, 2003).

Por ello el dióxido de azufre es irritante además a la garganta y vías respiratorias. Al respirar aire que contiene SO₂, éste pasa al interior del cuerpo a través de la nariz y los pulmones y rápidamente a la corriente sanguínea. Una vez dentro del cuerpo, se degrada a sulfato y es excretado en la orina.

3.2. MATERIAL PARTICULADO - PM_{2.5}

Las partículas suspendidas (PM, por sus siglas en inglés) forman una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire (Mészáros, 1999), que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición, dependiendo fundamentalmente de su origen. El tamaño de las partículas suspendidas varía desde 0.005 hasta 100 micras de diámetro aerodinámico. Las partículas pequeñas PM_{2.5} son más ligeras y permanecen en el aire más tiempo y viajan lejos (cientos de millas), además que pueden permanecer en el aire por días o semanas.

El Dr. Dante Añaños, médico neumólogo y miembro del Comité de Medio Ambiente de la Sociedad Peruana de Neumología, señaló que cuando se hace la combustión del diesel hay una alta saturación en la atmósfera de compuestos sulfurados, nitrogenados, sobre todo en material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, monóxido de carbono, entre otros⁷. También indicó que el PM_{2.5} al ser fino es altamente nocivo porque a diferencia del PM₁₀, accede a las vías respiratorias, llega a los alvéolos pulmonares y produce no solo problemas inflamatorios, sino patologías de tipo pulmonar (inclusive de tipo fibrótica como la fibrosis pulmonar), y de tipo neoplásica.

⁷ “Que es el material particulado y cómo afecta nuestra salud”.
<http://maraton.rpp.com.pe/detalle.php?id=424330>

3.3. MONOXIDO DE CARBONO - CO

El monóxido de carbono CO es un gas incoloro, sin olor ni sabor, no irritante, que se encuentra tanto en el aire puertitas adentro como al aire libre. Es un compuesto gaseoso producido durante una combustión incompleta.

En personas que inhalan monóxido de carbono se manifiestan síntomas como dolor de cabeza, náusea, vómitos, mareo, visión borrosa, confusión, dolor en el pecho, debilidad, falla cardíaca, dificultad para respirar, convulsiones y coma. Las personas que sufren de enfermedades al corazón o al pulmón son más susceptibles a los efectos del monóxido de carbono.

3.4. DIOXIDO DE CARBONO - CO₂

El dióxido de carbono CO₂ es un gas inoloro, incoloro y no venenoso que forma parte de la atmósfera en condiciones normales. Es resultado de la combustión de combustibles fósiles y uno de los máximos responsables del efecto invernadero y el consiguiente cambio climático o calentamiento global y los efectos que sobre el Medio Ambiente pueden producir: desertización y sequías, deforestación, inundaciones, etc.

La exposición al dióxido de carbono puede causar dolor de cabeza, mareo, dificultad para respirar. La exposición mas alta puede causar convulsiones, coma y la muerte.

4. VALORES LÍMITES PERMISIBLES

En la actualidad no existen guías específicas recomendadas para calidad del aire en interiores de aceptación general. En la práctica se toman a menudo como referencia los valores documentados para ambientes laborales, para aire exterior o, posiblemente los más adecuados, para calidad de aire en general. En la tabla N° 3 se comenta las características de los valores de referencia más utilizados.

Tabla N° 3. Referencia de valores limites permisibles de los principales contaminantes emitidos por los mecheros a diesel

Contaminante	Tiempo promedio referencial	Valor del estándar	Institución
Dióxido de azufre SO₂	10 minutos	500 ug/m ³ (0.17 ppm)	Organización Mundial de la Salud ⁸
	3 horas	0.50 ppm (1470 ug/m ³)	Estándares de la EPA ⁹
Material Particulado PM_{2.5}	24 horas	25 ug/m ³	Organización Mundial de la Salud
	24 horas	65 ug/m ³	Estándares de la EPA
Monóxido de Carbono CO	30 minutos	50 ppm	Organización Mundial de la Salud
	1 hora	25 ppm	OMS
	1 hora	35 ppm	Estándares de la EPA
Dióxido de Carbono CO₂	15 min	30000 ppm	Occupational Safety and Health Administration - OSHA
	8 horas	1000 ppm	

Los valores de las guías de la OMS son niveles de contaminación del aire por debajo de los cuales la exposición de por vida o la exposición durante un tiempo medio dado no constituye un riesgo significativo para la salud; superarlos brevemente no significa que el efecto adverso se produzca automáticamente, pero sí se incrementa el riesgo de tales efectos.

⁸ La OMS (Organización mundial de la salud) ha preparado unas Guías para la Calidad del Aire (1999, 2002 y 2005) como respuesta a la necesidad de emprender acciones y mejorar la legislación y la gestión respecto a la contaminación ambiental a nivel local, regional y nacional.

⁹ La EPA por sus siglas en ingles Environmental Protection Agency de los EE.UU.

Los valores de la Guía de la OMS para calidad de aire son también una importante referencia para su aplicación al aire de ambientes interiores, en los cuales las personas pasan la mayor parte del tiempo. No obstante, estos valores no tienen en cuenta los posibles efectos de la exposición combinada a varios contaminantes.

La EPA (Environmental Protection Agency) ha propuesto unos valores, ampliamente reconocidos, que, a menudo, son tomados como referencia para definir la calidad del aire exterior que puede utilizarse para la ventilación de un ambiente.

Los valores OSHA indicados en la tabla N° 3 corresponden a la última modificación.

5. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

5.1 CONDICIONES AMBIENTALES

Como se aprecia en la tabla N° 4, las condiciones ambientales durante los primeros 6 días de ensayo (D1-D6) de mecheros se encuentran dentro del margen de error comparativo, para el análisis de resultados. De otro lado no sucede lo mismo con los últimos 3 días (D7-D9) de prueba: fogón tradicional (7:40 a 9:20 a.m.) y éste en paralelo con el mechero tipo A (11:30 – 15:00 p.m.), efectuadas el mismo día a diferentes horarios.

Durante las pruebas de los días D7-D9 las variables de humedad relativa y condiciones de viento fue muy variable tal es el caso que:

- En las mañanas (D7-D9), se presentó un clima más húmedo (aprox. 60%) y con presencia de vientos ligeros (0.4 m/s).
- En las tardes (D7-D9), se mostro un clima más seco (aprox. 43%) y con presencia de vientos mas fuertes (1.22 m/s).

Estas dos variables influyen notablemente en la concentración de la polución en la base del suelo ó para que éstas se disipen en el ambiente por efecto de la velocidad de aire interna.

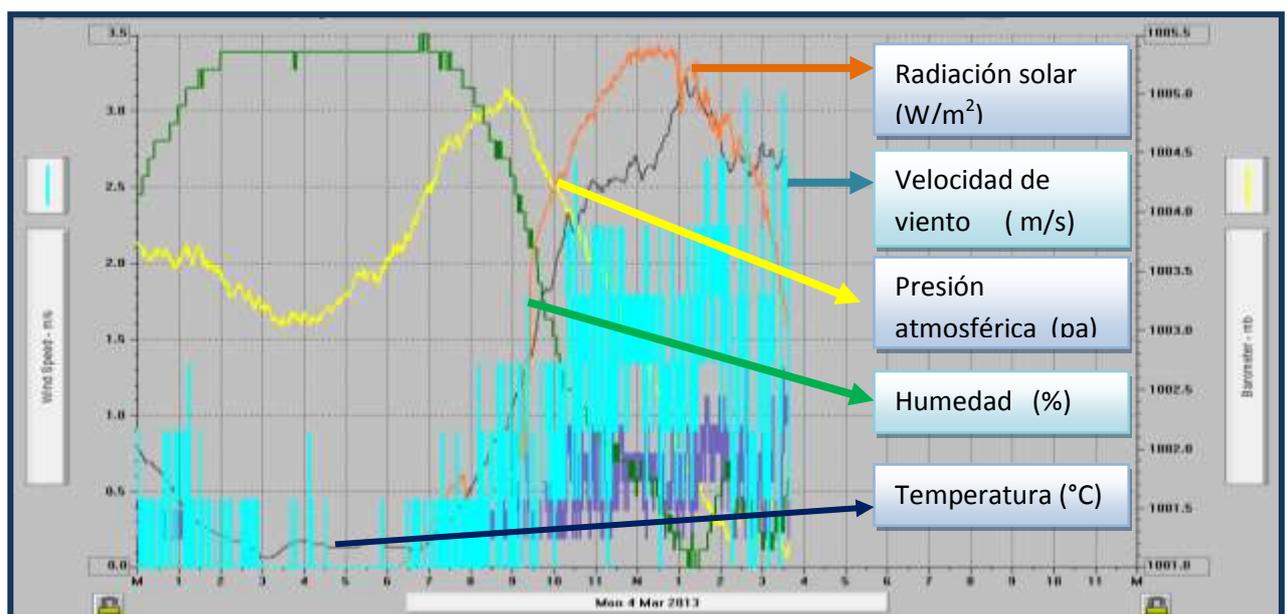
Con los resultados promedios mostrados en la tabla 4 se podría inferir que hubo más concentración de contaminantes (CO, PM_{2.5}, SO₂ y CO₂) durante las pruebas de fogón tradicional y mechero (debido a que la humedad era baja y la velocidad de viento era alta)¹⁰ a diferencia de las pruebas del fogón tradicional (donde las condiciones ambientales era de humedad alta y velocidad de viento ligera).

¹⁰ Análisis histórico de los datos de contaminación del aire en la zona metropolitana de Guadalajara. Arturo Figueroa, y Porfirio Gutiérrez, pagina 5.

Tabla 4. Resumen de los promedios diarios (D1-D9) de las condiciones ambientales durante las pruebas

Condiciones ambientales registradas por día de prueba					
Tipo de fuentes contaminantes	Día de prueba	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Velocidad de viento m/s	Radiación solar W/m ²
Mechero A	D1	32.5	56	1.25	630.31
	D2	32.9	57	1.25	583.82
	D3	33.2	56	0.99	522.8
	Promedio	32.9	56	1.16	578.9
Mechero B	D4	33.5	53	1.31	617.13
	D5	32.5	54	1.22	528.8
	D6	31.5	57	1.45	633.9
	Promedio	32.5	54.7	1.3	593.3
Fogón tradicional	D7 (M)	38.08	62.76	0.45	163.86
	D8 (M)	38.72	58.92	0.24	162
	D9 (M)	39.32	58.07	0.51	130.15
	Promedio	38.7	59.9	0.4	152.03
Fogón tradicional mas mechero	D7 (T)	42.03	41.26	1.01	427.91
	D8 (T)	40.17	41.84	1.48	526.91
	D9 (T)	43.79	45.05	1.17	474.23
	Promedio	41.9	42.7	1.22	476.35

Grafico N° 1. Curva característica de las condiciones ambientales (D1-D6). Figura muestra para el D1



El consumo promedio (D1-D3) de combustible diesel para el mechero tipo A fue de 101 g por un periodo de 3,5 horas diarias, mientras que el del mechero tipo B consumió en promedio 55 gr. de combustible (D4-D6). El consumo diario de combustible se detalla en la tabla N° 5.

Tabla N° 5. Consumo de combustible por día/por tipo de mechero (3.5 h de prendido)

Día de prueba	Consumo de combustible por día		Promedio g
	g		
	Mechero tipo A	Mechero tipo B	
Día 1 – D1	104		101
Día 2 – D2	101		
Día 3 – D3	99		
Día 4 – D4		55	55
Día 5 – D5		51	
Día 6 – D6		60	

La combustión de los mecheros ocurre en una reacción termoquímica muy rápida entre el oxígeno del aire y el combustible, para formar teóricamente CO₂ y H₂O además el consiguiente desprendimiento de energía al ser una reacción exotérmica, esto último generando luminosidad a través de la llama. Para que se produzca la combustión de una manera más eficaz el combustible debe de pasar a estado gaseoso para mezclarse con el oxígeno. Este proceso ocurriría con mayor precisión en el mechero tipo B, debido a la presencia de un conducto angosto y alto, por donde se quema el comburente (mecha) con el combustible. Por el contrario el mechero tipo A presenta un conducto grueso y corto, donde el proceso de combustión no es tan eficaz, debido a que parte de los reactivos no se transforman en CO₂ y H₂O, sino en sustancias contaminantes que se emiten en forma de emisiones, este último principalmente debido al exceso de oxígeno. Esto causa que el combustible y comburente no alcancen las temperatura adecuadas para la reacción exotérmica y de ignición. Esta diferencia en la calidad de combustión podría explicar la diferencia del consumo de combustible entre los mecheros tipo A y B.

De otro lado se ha observado que la mecha del mechero tipo A desprende más partículas durante el proceso de combustión que la tela del mechero tipo B, la cual se quema más

finamente desprendiendo menos partículas al ambiente de evaluación. Esto último también tiene una incidencia en la calidad de la combustión de los mecheros tipo A y B.

5.3 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES CON MECHEROS A DIESEL

En la Tabla N° 6 se detalla los promedios del background, máximos y medias de las pruebas consecutivas para cada tipo de contaminante captados por los medidores durante el desarrollo de las prueba de mecheros.

Tabla N° 6 – Resultados promedios de la prueba de concentración de contaminantes producido por los mecheros a diesel durante los D1-D6.

Contaminante	Unidad	Valores promedios de concentración de contaminantes emitidos durante 3.5 horas de prendido por los mechero tipo:					
		A (D1-D3)			B (D4-D6)		
		Backgro und	Máximo	Promedio	Backgro und	Máximo	Promedio
SO ₂	ppm	0	2.4± 1.4	1.1± 0.8	0	0.9± 0.4	0.4± 0.3
PM _{2.5}	µg/m ³	0	22 782	10 499	0	6 527	2 281
CO	ppm	0	9.9 ±4.5	4.8± 2.4	0	6.7 ± 3.1	2.0 ± 0.5
CO ₂	ppm	0	182.5 ¹¹	33.3 ¹²	5.9	143± 5.7	48.2± 4.0

5.3.1 DIÓXIDO DE AZUFRE SO₂

Los valores de concentración de dióxido de azufre de los mecheros tipo A y B medidos luego de 10 minutos y 3.5 horas de encendidos se pueden ver en la tabla N° 7.

¹¹ El promedio máximo en este tipo de contaminante se calculo en función a las pruebas de los días D1 y D3, debido a que el D2 por razones desconocidas el medidor Aaeroqual, registro niveles de concentración mas del doble a los obtenidos a los días anteriores, pese a tener las mismas condiciones ambientales. Estadísticamente para un análisis mas exhaustivo se descarto la data del D2 como es de 461 ppm CO₂

¹² El análisis es idéntico a los criterios considerados en el promedio máximo de concentración, en este caso se descarto el valor del D2= 353 ppm de CO₂.

Tabla N° 7 - Resumen de los niveles de concentración de SO₂

Tipo de mechero	Promedio de SO ₂ (ppm) a 10 minutos de prendido el mechero tipo:						Promedio general 3.5 horas (ppm) D1-D3 / D4-D6
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	
Tipo A	1.83	0.50	1.08				1.14
Tipo B				0.66	0.05	0.01	0.44

El límite permisible de exposición de SO₂ según la OMS (Tabla N° 3), indica que los niveles máximos de concentración de SO₂ luego de 10 minutos de exposición no deben superar los 0,17 ppm. De la tabla N° 7 se observa que la concentración promedio de SO₂ luego de 10 minutos de prendido del mechero tipo A es de 3 a casi 11 veces mayor al límite permitido por la OMS.

De la tabla N°7 se observa por otro lado que la concentración promedio de SO₂ en tres días de prueba consecutiva con los mecheros A y B es de 1.14 ppm y 0.44 ppm respectivamente, es decir entre 2.5 y 6.5 veces el límite permisible para 10 minutos de exposición. Teniendo en cuenta que a mayor tiempo de exposición menores las concentraciones máximas permitidas, estos valores resultan muy elevados teniendo en cuenta las más de 3 horas de exposición con estos niveles.

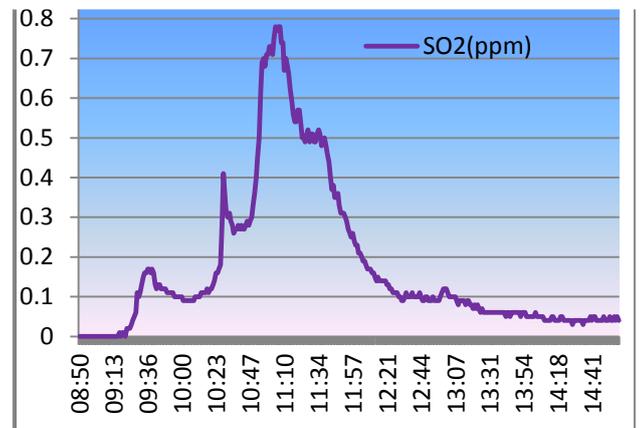
La tabla N° 7, muestra que comparativamente el mechero tipo B presenta una menor concentración de SO₂ en aproximadamente un 60% respecto del mechero tipo A. Pese a esta diferencia significativa, el valor promedio podría representar aún una amenaza a la exposición de las personas.

Los gráficos N° 2 y N° 3, muestran que durante todo el tiempo de encendido de los mecheros se superan los niveles permitidos de SO₂ indicados por la OMS. Esta característica se acentúa sobre todo en las primeras dos horas de la prueba.

Grafico N° 2. Curva característica de niveles de concentración de SO₂ del mechero tipo A para el D3



Grafico N° 3. Curva característica de niveles de concentración de SO₂ del mechero tipo B para el D5



De otro lado estas mismas graficas muestran que luego de dos horas de ventilación (mechero apagado) con la puerta cerrada (para simular el horario de descanso de las familias, después de usar los mecheros) aún existe dentro del ambiente:

- 0.08 ppm (promedio D1-D3) de SO₂ emitido por el mechero tipo A.
- 0.18 ppm (promedio D4-D6) de SO₂, emitido por el mechero tipo B.

Por otro lado si nos regimos al periodo de 3 horas (limite permisible de exposición recomendado por la EPA: 0.50 ppm) - que coincidentemente representa el tiempo promedio de uso de estos artefactos rústicos de iluminación por día en las zonas rurales de nuestro país-, se tiene que a 3 horas de prendido, el mechero tipo A muestra una concentración promedio de SO₂ de 1.21 ppm (es decir más de dos veces del límite permitido)¹³. Por otro lado el mechero tipo B muestra una concentración promedio de 0.44 ppm, por debajo de limite recomendado por la EPA.

Se puede apreciar de la misma forma que ambas curvas demuestran una evolución similar, teniendo emisiones intensas en las primeras dos horas y luego descendiendo a partir de la tercera hora de encendido, hasta su disipación.

5.3.2 MATERIAL PARTICULADO PM_{2.5}

Al no existir referencias para períodos cortos de exposición (1 hora y 3 horas), de material particulado PM_{2.5}, es que analizaremos este contaminante respecto a los niveles de concentración de PM_{2.5} del historial estadístico de data de cocinas certificadas en laboratorio del SENCICO.

¹³ Se tomaron los datos de las mediciones luego de 3 horas de encendidos los mecheros para contrastar con los valores de la EPA, sin embargo no forman parte de los valores ya mostrados en las tablas para tiempos de 10min y 3.5 horas.

Según la tabla N° 6, el mechero tipo A emite en promedio (3 días consecutivos) niveles de $PM_{2.5}$ de $10\ 499\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ a comparación del mechero tipo B, que emite una concentración promedio de $2\ 281\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. De los resultados se infiere que pueden ser debido al diseño de los mecheros y la combustión en cada uno.

Según el historial estadístico del laboratorio del SENCICO a 23 cocinas mejoradas certificadas, se tiene que el valor más alto de concentración de $PM_{2.5}$ emitido por una cocina mejorada es de $3\,437\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado se tiene que en promedio las cocinas eficientemente energéticas emiten una concentración promedio de $PM_{2.5}$ menor a $1\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos resultados nos hacen inferir que el mechero tipo A, emite una concentración de $PM_{2.5}$ bastante mayor que una cocina mejorada promedio.

Debido a esto, este resultado se contrastó con los resultados de la Tabla N° 9 de la prueba de fogón tradicional, evidenciándose que el mechero de diésel tipo A genera emisiones de $PM_{2.5}$ que representan aproximadamente un 60% de lo que emite un fogón tradicional.

Los gráficos N° 4 y 5 muestran las curvas características de los niveles de concentración de CO y $PM_{2.5}$ emitidos por los mecheros tipo A y B respectivamente. Ambos gráficos muestran que durante el background (primeros 30 minutos) los niveles de concentración de los contaminantes es nula. Sin embargo una vez iniciada el encendido de los mecheros los picos de la curva empiezan a ascender en forma progresiva, manteniéndose constante por un periodo de 1 hora, a partir de esta hora empieza a descender o disiparse en el interior del ambiente.

Gráfico N° 4. Curva característica de los niveles de concentración de CO y $PM_{2.5}$ del mechero tipo A (D1).

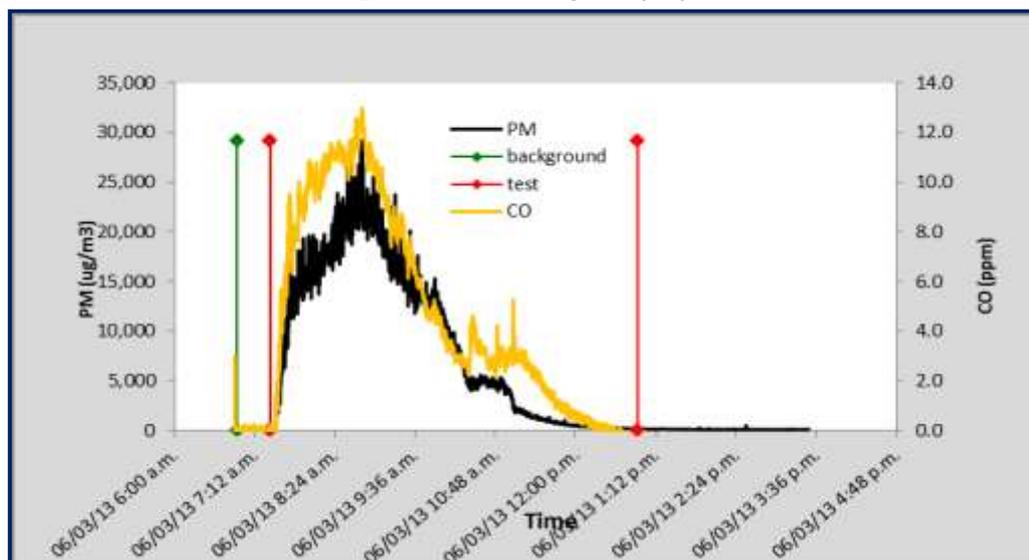
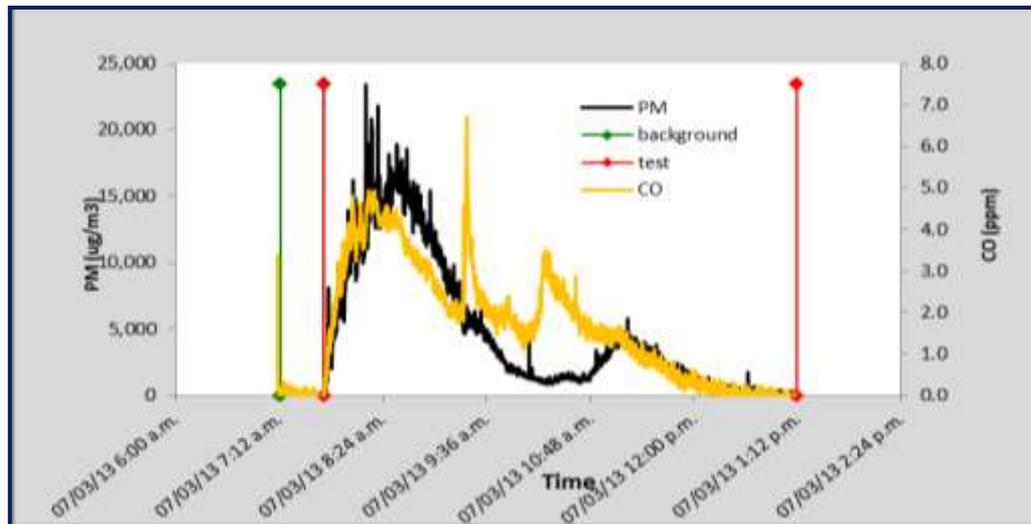


Grafico N° 5. Curva característica de los niveles de concentración de CO y PM_{2.5} del mechero tipo B (D6).



5.3.3 MONÓXIDO DE CARBONO CO

La tabla N° 6, muestra que los valores promedios de los niveles de concentración de CO es de 4.8 ppm y 2.0 ppm para el mechero tipo A y B respectivamente. Tales valores no representan un peligro significativo para la persona expuesta, siempre que no permanezca por un periodo prolongado o mayor a 1 hora, según la tabla N° 3. Esto se comprueba al observar los gráficos 4 y 5, pues las curvas respectivas de CO de ambos mecheros no sobrepasan los límites permisibles (25 ppm –OMS y 35 ppm - EPA) durante todo el transcurso de la prueba.

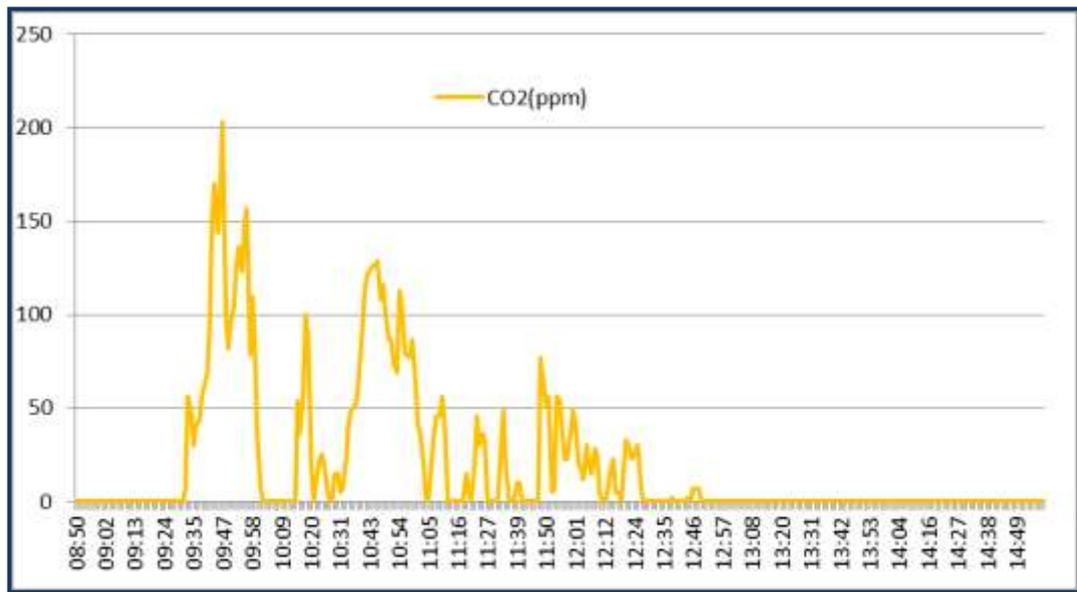
Los gráficos 4 y 5 muestran una curva característica del CO durante el funcionamiento de los mecheros a diesel, con picos pronunciados en las primeras horas del encendido de las fuentes contaminantes, la misma que se va estabilizando y descendiendo en forma paulatina. Asimismo existe un incremento de concentración de CO al momento de apagar el mechero, esto debido a inhibir el oxígeno a la reacción del combustible y comburente en pleno proceso de combustión.

5.3.4 DIÓXIDO DE CARBONO CO₂

La grafica N° 6, muestra una curva típica de los niveles de concentración de CO₂ para el D2 con mechero tipo B. El promedio de concentración de CO₂ dentro del ambiente para este día fue de 51.1 ppm. Los valores promedios (3 días consecutivos) obtenidos en la

concentración de CO₂ son de 33.3 y 48.2 ppm para el mechero tipo A y B respectivamente. La exposición a estos niveles de concentración no es riesgosa ya que el valor máximo recomendado para interiores es de 1.000 ppm.

**Grafico N° 6. Curva característica de la concentración de CO₂ en mecheros.
Grafico del D2 mechero tipo B**



El dióxido de carbono sólo es perjudicial a partir de una concentración de 50.000 ppm, no obstante a partir de concentraciones mucho menores (a partir de valores entre 800 y 2.000 ppm) se pueden producir molestias diversas, como dolor de cabeza, problemas respiratorios y cansancio, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición.

Si se superan estos niveles puede deberse a una combustión incontrolada, en cuyo caso el riesgo para la salud puede no ser debido al CO₂ sino a la presencia de otros subproductos de la combustión, principalmente el CO, cuyo límite de exposición es muy inferior (25 ppm). El monóxido de carbono se degrada en el aire al reaccionar con otras sustancias químicas y se transforma en anhídrido carbónico (CO₂), la cual si es perjudicial sobre todo para el medio ambiente.

6. CONCENTRACION DE CONTAMINANTES DEL MECHERO A DIESEL Y DEL FOGÓN TRADICIONAL (PRUEBA EN PARALELO)

En la Tabla N° 8, se resume los resultados promedios de las dos pruebas realizadas durante el mismo día:

- Prueba de fogón tradicional (mañana): Se midió la concentración de CO, PM_{2.5}, CO₂ y SO₂ utilizando el protocolo de concentración de polución intradomiciliaria

del Reglamento de Evaluación y Certificación de Cocinas Mejoradas del SENCICO.

- Prueba en paralelo de fogón tradicional y mechero tipo A (tarde): Luego que el ambiente ventiló 2 horas tras la prueba con fogón tradicional, se midieron los mismos contaminantes emitidos además del fogón tradicional, por el mechero tipo A.
-

Tabla N° 8 – Resultados de la prueba de concentración de contaminantes producido por un fogón tradicional y el mechero tipo A

Contaminante	Unidad	Fogón tradicional		Fogón tradicional+ mechero tipo A	
		Línea base	Promedio	Línea base	Promedio
SO₂	ppm	0	9.9 ^a -14.8 ^a	0	8.7 ^b -19.5 ^b
PM_{2.5}	µg/m ³	0	15165	0	19723
CO	ppm	0	397	0	418.6
CO₂	ppm	0	LPE ^c	161.2 ^d	1601.8

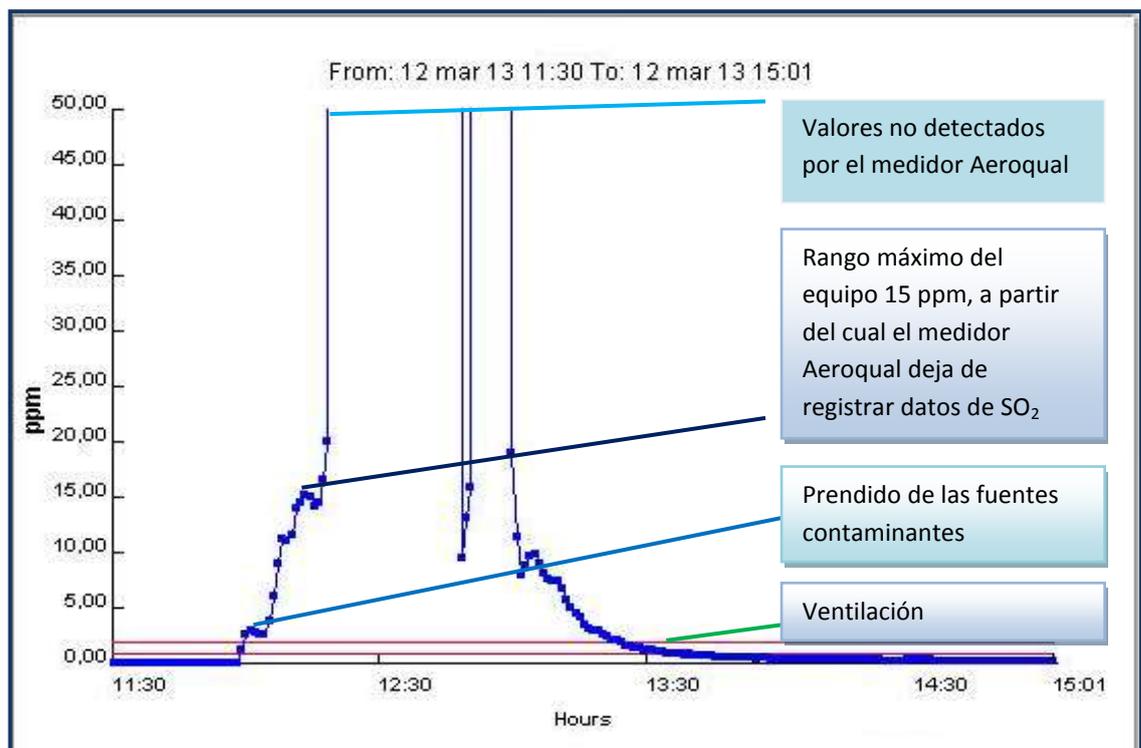
- a. Este promedio corresponde a 5 y 15 minutos de prendido el fogón tradicional de los D7-D8 respectivamente. No se presenta el promedio total (3 días consecutivos), ni el del D9, debido a que el equipo dejó de captar data de forma continua.
- b. 8.7 ppm es el valor obtenido a 30 minutos de prendido del mechero tipo A y fogón tradicional (D9). Mientras que 19.5 ppm corresponde al promedio de 10 minutos después del prendido del mechero tipo A y el fogón tradicional del D7. No se presenta un valor promedio único de SO₂ debido a la no continuidad de medición de data del medidor Aeroqual.
- c. LPE, Límite Permitido del Equipo, la captación de los niveles de concentración del contaminante sobrepaso los rangos del medidor Aeroqual.
- d. Este valor es el promedio de concentración de CO₂ de los dos últimos días de ensayo (D8-D9). Este valor indica la existencia de concentración de dióxido de carbono en el ambiente de evaluación, debido a que horas antes del mismo día y en el mismo laboratorio se efectuó la prueba de niveles de concentración de contaminantes con el fogón tradicional.

6.1 DIOXIDO DE AZUFRE SO₂

El grafico N° 7, muestra las fases de captación de data del medidor Aeroqual.

El grafico N° 7, muestra las fases de captación de data del medidor Aeroqual sobre una curva característica de la data registrada los días D7-D9, durante el desarrollo de las pruebas con fogón tradicional y el mechero tipo A.

Grafico N° 7. Curva característica de la concentración de SO₂ en la prueba de fogón tradicional y mechero - D9



La principal característica de estas curvas incompletas, es que al iniciar el encendido de las fuentes contaminantes (fogón tradicional y/o mechero tipo A), los valores de SO₂ se proyectan a una velocidad de 0.5 ppm/min en pruebas de fogón tradicional y de 1.5 ppm/min en pruebas que incluyen al mechero tipo A. Esto implica que las cocinas a leña, aunque a un ritmo menos rápido, también emiten SO₂ durante el proceso de combustión, lo que nos invita a medir niveles de concentración de SO₂ al validar cocinas mejoradas.

Del grafico N°7, se observa que debido a que el rango máximo de captación de data del medidor Aeroqual (SO₂) es de 15 ppm, una vez transcurrido 10 a 15 minutos del prendido de las fuentes contaminantes, se registran datos en forma ascendente hasta llegar al rango máximo permitido por el medidor, quedando el resto de la prueba (45 min) sin poder

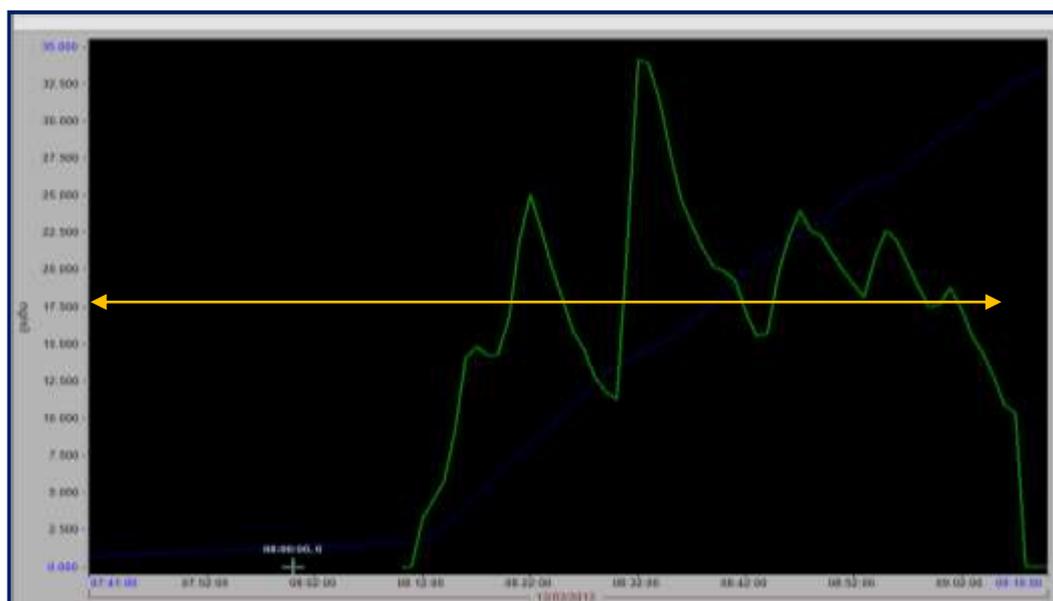
detectarse valores visibles > 15 ppm, debido a los altos niveles de concentración emitido después del prendido de las fuentes contaminantes.

Por otro lado se observa del grafico N° 7, que los valores obtenidos en los primeros minutos de la prueba sobrepasan los límites permitidos de exposición para la persona, establecidos por los organismos internacionales. Hecho que afectó directamente al personal evaluador al sentir dolor de cabeza, mareos y enrojecimiento de la piel, pese a estar protegido con equipos de seguridad (mascarilla y gafas).

6.2 MATERIAL PARTICULADO PM_{2.5}

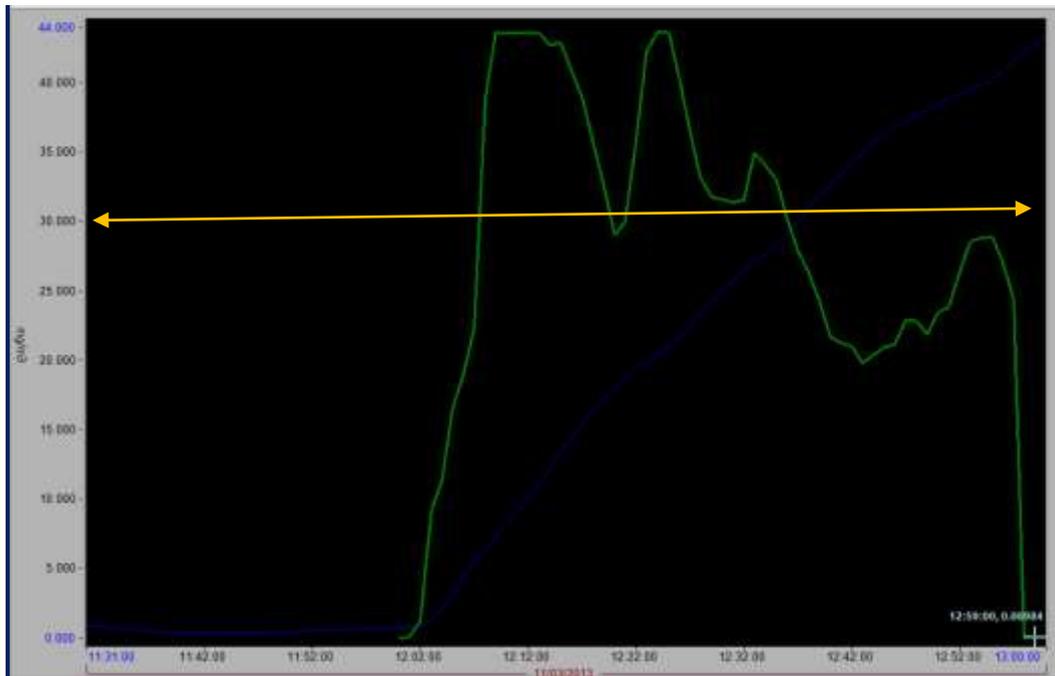
El gráfico N° 8 muestra una curva característica del PM2.5 durante las pruebas del fogón tradicional como única fuente contaminante.

Grafico N° 8. Curva característica de la concentración de PM_{2.5} en fogón tradicional - D7



Los picos máximos de PM_{2.5} emitidos durante las pruebas de fogón tradicional llegan hasta los 33,000 µg/m³ y el nivel promedio durante la medición llega aproximadamente a 17,500 µg/m³. Este pico aumenta hasta a 43,000 µg/m³ y el promedio hasta 30,000 µg/m³ cuando se añaden las emisiones del mechero tipo A, como se observa en el gráfico 9.

Grafico N° 9. Curva característica de la concentración de PM_{2.5} en prueba de fogón tradicional y mechero tipo A - D7

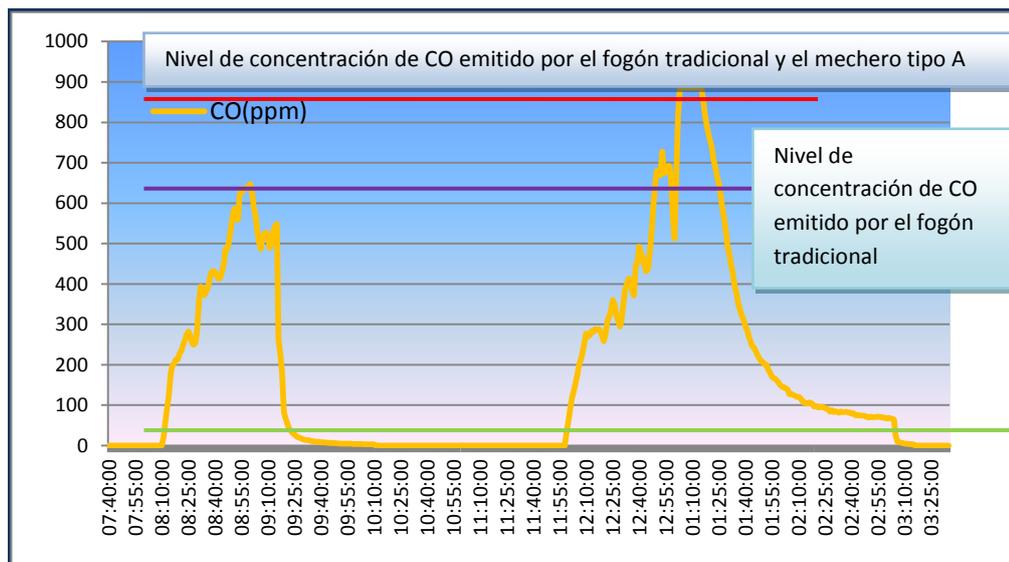


Los gráficos N° 8 y 9 muestran los valores únicamente del D7, sin embargo el valor promedio de concentración durante los 3 días de medición con únicamente el fogón tradicional es de 15,165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor para la prueba del fogón tradicional y el mechero tipo A, es de 19,723 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta diferencia representa un incremento de concentración de 4558 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (30%). Los valores mostrados representarían un incremento considerable en la concentración de PM_{2.5} a causa de la polución de un mechero tradicional con diésel.

6.3 MONOXIDO DE CARBONO CO

El gráfico N° 10, muestra la curva característica para el CO emitido de la prueba en paralelo del fogón tradicional y el mechero tipo A.

Grafico N° 10. Curva característica de la concentración de CO durante la prueba de fogón tradicional y el mechero tipo A (D9)



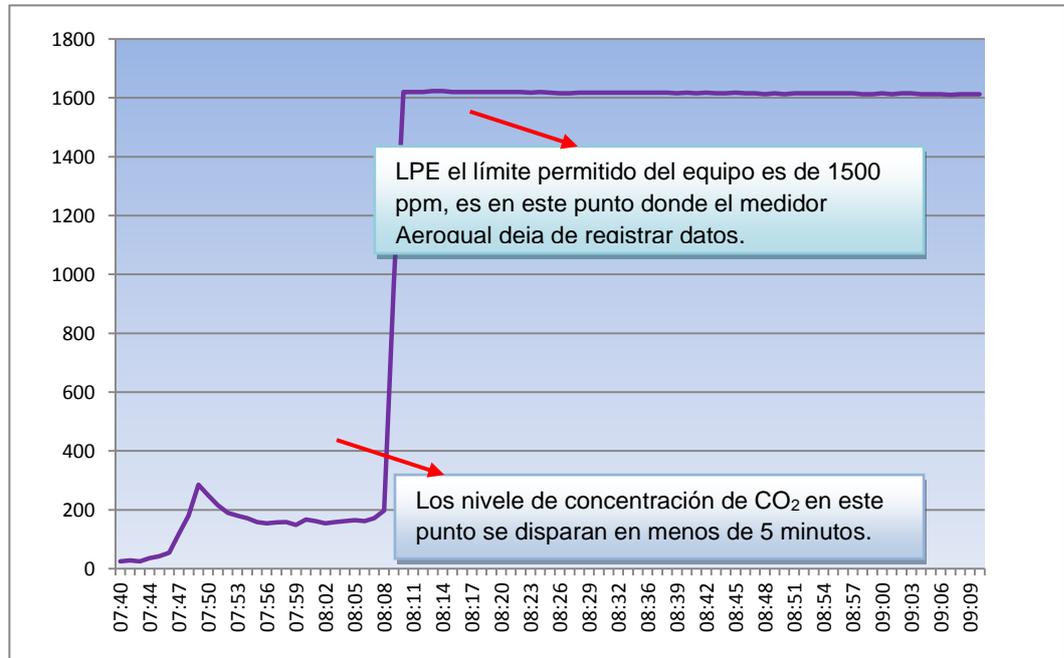
El valor promedio de CO obtenido en las pruebas de fogón tradicional es de 397 ± 16 ppm mientras que en las pruebas del fogón tradicional y el mechero tipo A se tiene un promedio de 419 ± 61 ppm, lo que significa un incremento de 22 ppm de concentración de CO.

La tabla N° 6 y los gráficos N° 4 y 5 muestran que la concentración promedio de CO alcanzada solo con las pruebas de mecheros fue de 4.8 ppm. Esto significaría que la mayor concentración de CO en las pruebas en paralelo con fogón tradicional sea atribuible a la combustión incompleta del fogón tradicional.

6.4 DIOXIDO DE CARBONO CO₂

El grafico N° 11 representa un comportamiento característico de la concentración de CO₂ durante las pruebas de fogón tradicional y el mechero tipo A. Se puede observar que de los ensayos realizados no se cuenta con valores promedios absolutos, debido que transcurrido un tiempo de 15 a 20 minutos luego del encendido de ambas fuentes contaminantes, los niveles de CO₂ superaban al rango del medidor utilizado, como se ve en el gráfico N°11.

Grafico N° 11. Curva característica de la concentración de CO₂ durante la prueba de fogón tradicional y el mechero tipo A



El grafico N° 11 muestra nuevamente la evolución del CO₂ sin medición continua de data por los altos niveles de CO₂ encontrados. Esto puede ser debido a que el CO emitido por el fogón tradicional y el mechero se degrada en el aire al reaccionar con otras sustancias químicas y se transforma en anhídrido carbónico (CO₂), elevando así la concentración de este gas hasta picos que sobrepasan el rango del medidor utilizado.

6. 5 Volatilidad de la contaminación remanente

De otro lado también se cuantificó la concentración promedio existente en el ambiente después de usar un fogón tradicional y el mechero de tipo A. De la Tabla N° 10, se observa que a dos horas de ser apagada las fuentes contaminantes, incluso con la puerta abierta aun existe un promedio de 33.65 ppm de CO, 1.31 ppm de SO₂ y 500 µg/m³ de PM_{2.5}. Estos valores están por encima de los límites permisibles de exposición para las personas establecidos en especial por la OMS.

Asimismo los valores promedios de ventilación con puerta cerrada para la concentración de PM_{2.5} y CO son aproximadamente 10 veces más respecto a la ventilación realizada con puerta abierta. Esta relación para la concentración de CO₂ es 5 veces mayor, como se aprecia en la tabla N°10.

Tabla N° 10. Concentración de contaminantes emitidos por el fogón tradicional y el mechero tipo A, después de 2 horas de ventilación

Contaminante	Unidad	Puerta abierta	Puerta semi abierta	Puerta cerrada
CO	ppm	33.65	231.41	317.08
CO ₂	ppm	240.51	333.64	1213.24
SO ₂	ppm	1.31	No se midió	1.823
PM _{2.5}	µg/m ³	500	No se midió	5498

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la evaluación de mecheros y fogón tradicional permite sostener las siguientes conclusiones y recomendaciones.

❖ Evaluación de mecheros a diesel:

- A 10 minutos del prendido del mechero (Tipo A más contaminante) existe una concentración promedio de SO_2 de 1.14 ppm, es decir aproximadamente 7 veces más del límite recomendado por la OMS. Mientras que en un periodo de 3 horas (LP recomendado por la EPA), que coincidentemente representa el tiempo promedio de uso de estos artefactos rústicos de iluminación por día, en las zonas rurales de nuestro país, se tiene una concentración promedio de 1.21 ppm es decir más de 2 veces del límite permitido según EPA.
- Otro de los contaminantes con alto nivel de concentración encontrado es el $\text{PM}_{2.5}$ con $10,499 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a comparación del mechero tipo B, que emite una concentración promedio de $2,281 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta diferencia recaería en diseño de los mecheros la misma que influye en la combustión de cada tipo en función a variables como el tipo de material de la mecha, el largo de la misma, etc.
- Según el registro periódico de información de las pruebas de certificación de cocinas mejoradas realizadas por el SENCICO, se tiene que el valor más alto de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ emitido por una cocina mejorada es de $3\,437 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos resultados nos hacen derivar que el mechero tipo A, emite una concentración de $\text{PM}_{2.5}$ bastante mayor que una cocina mejorada promedio.
- De hecho al compararse la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ de un fogón tradicional con la emite un mechero tradicional, encontramos que el mechero puede alcanzar hasta un 60% los niveles que alcanza el fogón tradicional. Los resultados expuestos nos delatarían la existencia de un riesgo en la salud de las personas que aun utilizan este tipo de artefactos rústicos para iluminarse similar al problema de polución intradomiliaria por combustión de leña.
- De otro lado se tiene que la concentración promedio de CO y CO_2 durante las pruebas de mecheros no es significativa respecto a los límites permitidos establecidos por los organismos internacionales.
- De estas conclusiones se sugiere realizar evaluaciones con un mismo tipo de mechero y diferentes tipos de comburente (mechas), ya que se ha observado que diferentes variedades de mechas desprenden en mayor o menor grado partículas finas.

❖ Evaluación de fogón tradicional y mechero a diésel:

- Del análisis de resultados se tiene que durante los primeros 10 a 30 minutos después del prendido de las fuentes contaminantes en evaluación, los niveles de concentración de SO_2 y CO_2 sobrepasan los rangos de captación del medidor utilizado (aeroqual). Razón por la cual no se pudo obtener niveles de concentración promedio durante la prueba para este tipo de contaminantes.
- Mientras que el valor promedio de $\text{PM}_{2.5}$ obtenido de las pruebas del fogón tradicional es de $15\ 165\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, y la concentración promedio de las pruebas del fogón tradicional y el mechero tipo A, es de $19\ 723\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, existiendo un incremento del 30 %.
- En cuanto a los niveles de concentración promedio de CO obtenido en las pruebas de fogón tradicional es de 397 ± 16 ppm mientras que de las pruebas del fogón tradicional y el mechero tipo A es de 419 ± 61 ppm, cuyos valores están dentro del margen de error comparativo, lo que significa que los niveles de concentración de CO son netamente producto de la combustión incompleta del fogón tradicional.
- Los altos niveles de concentración de contaminantes obtenidos representarían un alto riesgo para las personas que aun utilizan este tipo de artefactos rústicos para iluminar y cocinar en paralelo, como se pudo apreciar en malestares con el personal evaluador.
- De otro lado también se cuantificó la concentración de contaminantes en el interior del ambiente a dos horas de ventilación (después de apagar el fogón tradicional y el mechero de tipo A). Se tiene que la ventilación de concentración de $\text{PM}_{2.5}$ y CO con la puerta cerrada es aproximadamente 10 veces, mientras que para la concentración de CO_2 es 5 veces mayor respecto a la ventilación realizada con puerta abierta.
- Al no haberse concretado la medición de los contaminantes durante las pruebas de mecheros y fogón tradicional se sugiere realizar esta prueba con equipos con mayor rango de data, además de medir otros tipos de contaminantes como óxidos nitrosos y de azufre. Considerar además medir en diferentes días, en horarios similares para así controlar las variables ambientales.
- Debido a que la ruta más probable de exposición al dióxido de azufre y material particulado es respirar el aire contaminado por los mecheros o el fogón tradicional se debe tratar de limitar realizar actividades prolongadas dentro de un ambiente cerrado usando al mismo tiempo estas fuentes contaminantes.
- De los ensayos realizados se ha comprobado la existencia de altos niveles de SO_2 , emitidos únicamente por cocinas a leña. Motivo por el cual se sugiere considerar en

la validación de las cocinas mejoradas los niveles de SO₂, emitidas durante la combustión.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.
http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf
2. NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior
3. ROSELL, M. G., GUARDINO, X. y BERENQUER, M. J NTP 345 - El control de la ventilación mediante gases trazadores. 1994 Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
4. UCLA Labor Occupational Safety & Health Program (LOSH).
5. NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire.
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_243.pdf
6. US EPA. Major Environmental Laws. Laws and Regulations.
<http://www.epa.gov/epahome/laws.htm>
7. Lam, N.L.; K.R. Smith; A. Gauthier; M.N. Bates (2012b) "Kerosene: A Review of Household Uses and Their Hazards in Low- and Middle-Income Countries," Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews, 15(6), 396-432.
8. International energy agency – world energy outlook 2010
9. MEM - Plan nacional de electr. Rural 2013
10. Apple, Vicente, yarberry, lohse, etc "Characterization of particulate matter size distributions and indoor concentrations from kerosene and diesel lamps"



Implementada por
giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Ministry of Foreign Affairs of the
Netherlands



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo
y la Cooperación COSUDE