



Evaluación del Desempeño Ambiental de Electro Filtros en Cocinas a Leña - Coyhaique

Elaborado por:

Dr. Ing. Roberto Santander Moya

Revisión B

Febrero 2020



DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA
MECÁNICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Página web: www.dimec.usach.cl

Dirección: Av. Libertador Bernardo O'Higgins 3363, Estación Central, RM.

Mesa Central: (562) 2 718 0000

TABLA DE CONTENIDO

1. ANTECEDENTES GENERALES	4
2. CONDICIONES DE ENSAYO Y METODOLOGÍA DE MEDICIÓN	4
2.1. Introducción	4
2.2. Metodología de Medición	6
2.3. Identificación de Cocinas Medidas	6
3. RESULTADOS DE MEDICIONES	8
3.1. INTRODUCCIÓN	8
3.2. Resultados Salvador Hernaez #273	8
3.3. Resultados Salvador Hernaez #279	10
3.4. Resultados William Sander #241	13
3.5. Resultados Gabriela Mistral #585	15
3.6. Resultados Ensenada #432	16
3.7. Resultados Magallanes #535	18
3.8. Resultados Laboratorio Biomasa DIMEC-USACH	21
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	22

1. ANTECEDENTES GENERALES

El presente informe reporta los resultados de mediciones ambientales realizadas en el mes de febrero del 2020 a seis cocinas a leña en la ciudad de Coyhaique, conforme, a lo solicitado por la empresa BIJIT PROYECTOS SPA al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Santiago de Chile.

Tales mediciones buscan verificar el porcentaje de abatimiento de material particulado cuando un electro filtro es instalado en el ducto de descarga de gases de una cocina a leña. No obstante lo anterior, las mediciones realizadas reportan tambien la información de nivel de oxígeno, monóxido de carbono y temperatura de los gases de combustión.

El informe, en el capítulo II, contiene una descripción resumida de las condiciones de ensayo y la metodología de medición. En el capítulo III se presentan los resultados de las mediciones y finalmente, en el capítulo IV se presenta una breve discusión de resultados.

2. CONDICIONES DE ENSAYO Y METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

2.1. Introducción

En este informe se presentan los resultados del proceso de combustión de leña de seis cocinas cuyas mediciones fueron realizadas entre el 31 de enero del 2020 y el 5 de febrero del 2020. Para esto, en una fase inicial, la empresa BIJIT PROYECTOS SPA instaló los respectivos electro -filtros y coordinó las visitas y mediciones a realizar. Siendo así, el equipo de medición fue integrado por personal de la USACH y Michel Revaz de la empresa OekoSolve AG quien era el responsable de la operación del electro filtro.

Conforme es mostrado en la figura 2.1, la instalación original consta del ducto normal de descarga y el electro filtro a evaluar. Para esto, con el objetivo de tener un flujo desarrollado en la descarga de los gases se instaló un ducto auxiliar del mismo diámetro donde se insertaba la sonda de medición. De esta manera, es posible cuantificar la concentración de partículas, concentración de gases y temperatura de estos. Cuidados especiales se tomaron para verificar la hermeticidad del sistema de descarga de gases y la sección del electro filtro.

Una vez preparada la instalación, se verificaba la carga y temperatura del hogar de la cocina así como la humedad de la leña a utilizar. Con esto, se procedía a la evaluación ambiental del proceso de

combustión de la cocina con la operación intermitente del electro filtro. De esta manera, es posible cuantificar el porcentaje de mitigación o nivel de impacto ambiental del filtro en estudio.

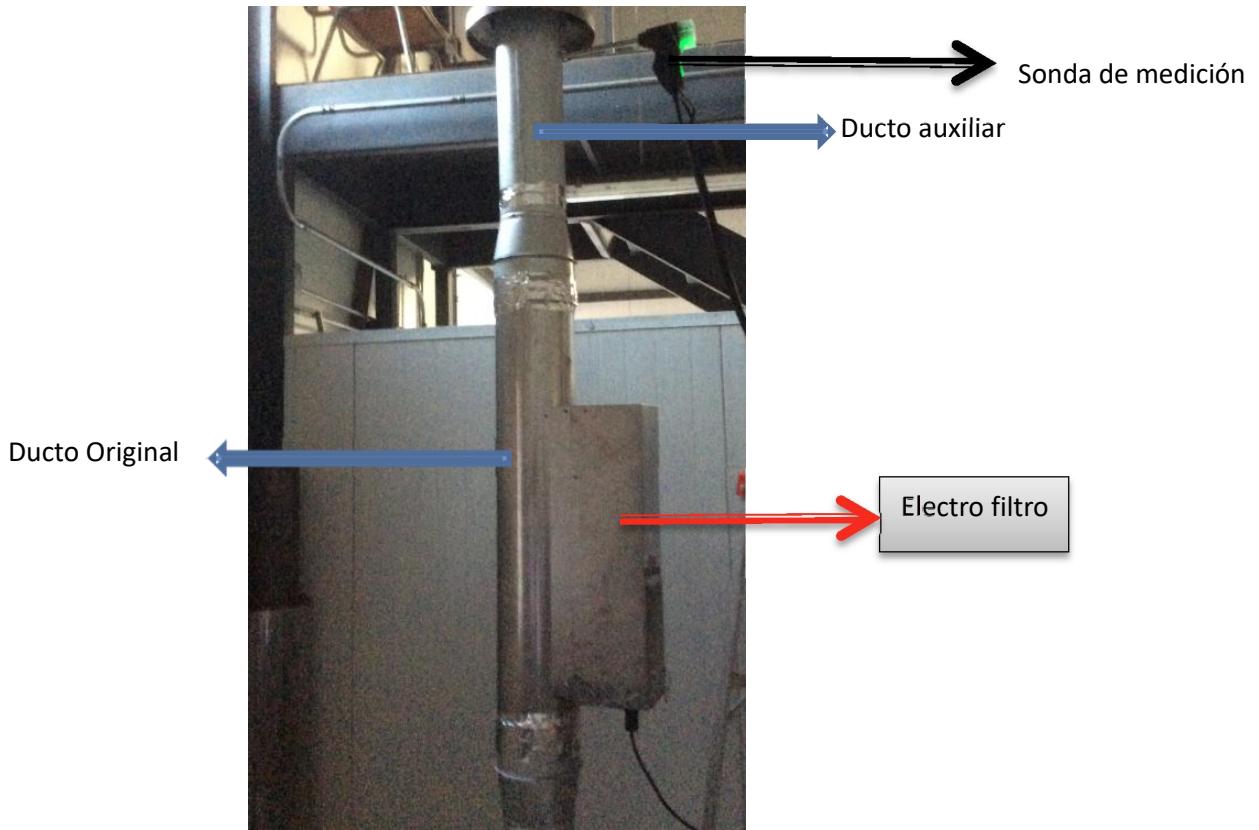


Figura 2.1; Descripción del montaje del sistema de descarga de gases y ubicación de electrofiltro

Los instrumentos utilizados se describen en la tabla 2.1

Tabla 2.1; Características técnicas de instrumentos utilizados

EQUIPO	MARCA	OBSERVACIONES
Analizador de partículas finas y gases (O ₂ , CO)	Testo 380 N° Serie 61658874 Exactitud Según VDI 4206-2 Resolución 0,1 mg/m ³ Desviación O ₂ ± 0,2% CO ± 10 ppm Temperatura ± 0,5°C	Certificado de Conformidad conforme DIN EN ISO 9001 Calibración 17 del 12 del 2019
Medidor de humedad de madera	EXTECH modelo M0210 Rango: 6% – 44%	Calibrado de fábrica – Equipo nuevo
Termocupla Gases	Pyromation modelo N°28-01800	Calibración: Diciembre 2019

2.2. Metodología de Medición

Para cada una de las instalaciones a evaluar, una vez preparada la descarga de gases y la operación del electro filtro, se procedió a registrar los niveles de humedad de la leña y la temperatura del hogar de la cocina. En cada caso se tenían equipos que ya estaban funcionando de manera que durante la medición se mantenía niveles aproximadamente constantes de temperatura para no tener cambios bruscos de la condición de operación de la cocina, para esto, un encargado del equipo de mantenimiento se encargaba durante toda la operación.

A partir de estas condiciones y con el equipo de medición de partículas finas preparado, se daba inicio al conjunto de mediciones siguiendo una secuencia idéntica para cada cocina medida. Específicamente, conforme se muestra en la figura 2.2, la secuencia de activación y desactivación del electro filtro se realizaba cada 5 minutos aproximadamente. La ventaja de establecer esta metodología se basa en que es factible identificar de manera más evidente el impacto del filtro en estudio. Adicionalmente, otra ventaja de esta metodología, es que, la comparación de la concentración de material particulado sin y con filtro puede ser realizada para condiciones de operación de la cocina más cercanas entre sí y así poder comparar el nivel de concentración de partículas con y sin filtro.

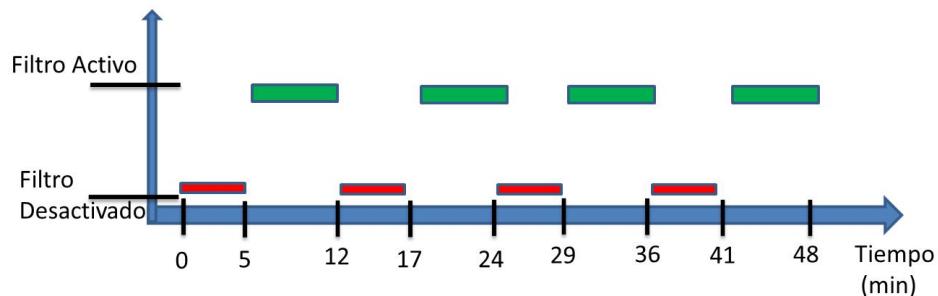


Figura 2.2; Ciclo de operación de electro filtro durante mediciones

Como se observa de la figura 2.2, el tiempo de duración de la medición en cada cocina corresponde a 48 minutos con cuatro ciclos activos del filtro y cuatro ciclos desactivados. Asimismo, debe notarse de la figura, que una vez energizado el filtro para su activación este demora dos minutos en entrar en régimen estable. Por esa razón los segmentos de la figura para el filtro activo disponen de 7 minutos de duración.

2.3. Identificación de Cocinas Medidas

Como fue dicho anteriormente, las mediciones de las seis cocinas ocurrieron entre el 31 de enero y el 5 de febrero del 2020. Sin embargo, antes de proceder las pruebas de campo y como una manera de preparar las mediciones en terreno se realizó una medición el 31 de enero en el laboratorio de Biomasa del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Santiago. De esta manera, en la tabla 2.2 se identifican las respectivas mediciones realizadas en el contexto del presente trabajo.

Tabla 2.2; Detalle de cocinas medidas

DIRECCIÓN	RESPONSABLE	TIPO DE COCINA	FECHA	LEÑA UTILIZADA	OBSERVACIÓN
Salvador Hernaez #273	Cornelio Aguilar Calagan	Yunque	4 Feb 2020	Despunte Lenga	Electro Filtro Importado
Salvador Hernaez #279		Alcazar	4 Feb 2020	Lenga	Electro Filtro Importado
William Sander #241	Miguel Baez	Kluguet	4 Feb 2020	Lenga	Electro Filtro Importado
Gabriela Mistral #585	Magda Quintana	Estufa a Leña	5 Feb 2020	Lenga	Filtro Nacional MPO defectuoso operativamente
Ensenada #432	Maria Peña	Yunque	5 Feb 2020	Lenga	Electro Filtro Importado
Magallanes #535	Alejandra Cicarelli	Yunque	5 Feb 2020	Lenga	Filtro Nacional MPO
Laboratorio Biomasa USACH	DIMEC	Alcazar	31 Enero 2020	Eucaliptus	Electro Filtro Importado

Un detalle de la instalación del laboratorio de biomasa se muestra a continuación en la siguiente figura 2.3.



Figura 2.3, Instalación laboratorio biomasa USACH

3. RESULTADOS DE MEDICIONES

3.1. INTRODUCCIÓN

En esta sección se presentan los resultados generales obtenidos para cada medición realizada. Específicamente, se presentan los resultados de manera gráfica para todo el ciclo de operación mostrado en la sección 2.2. Inicialmente se presentan los gráficos de concentración de material particulado en gr/m^3 , luego las concentraciones de O_2 (%) y CO (ppm) así como la temperatura de los gases en la zona de muestreo.

3.2. Resultados Salvador Hernaez #273

Condiciones Operacionales:

MARCA COCINA	TIPO Y HUMEDAD LEÑA	TEMPERATURA HOGAR	OBSERVACIONES
Yunque	Despuntos Lenga – 26% - 30%	400 °C	Equipo con estanque agua caliente – Cocina mal estado

A continuación, en las figuras 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 se presentan los resultados para la concentración de material particulado, concentración de O_2 , CO y temperatura de gases respectivamente.

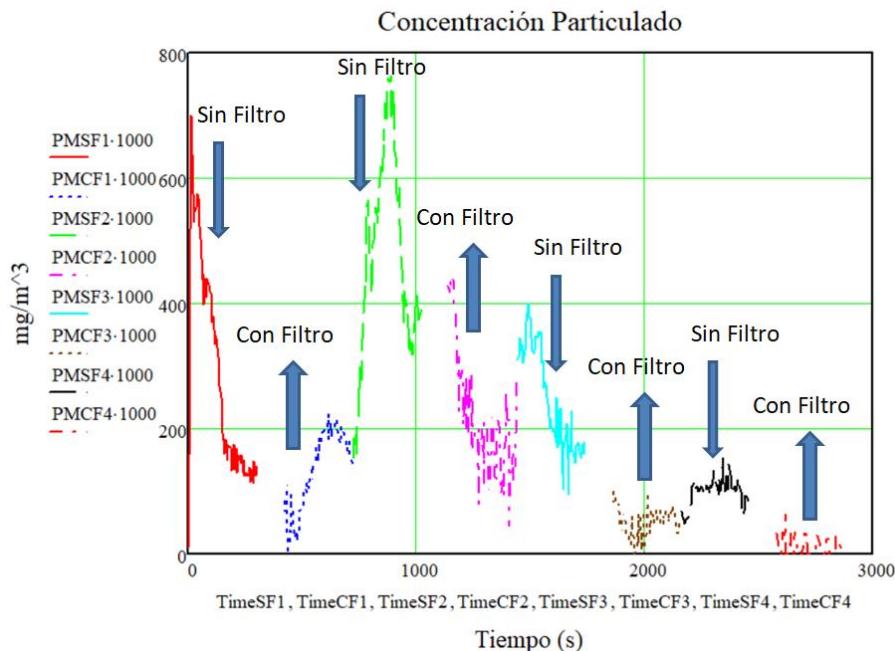


Figura 3.1; Concentración de material particulado (gr/m^3)

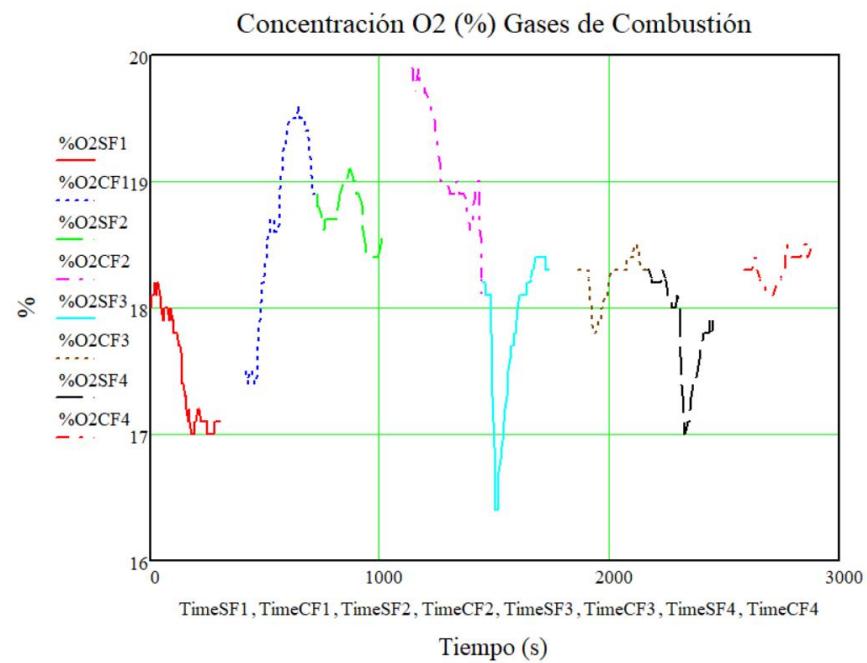


Figura 3.2; Concentración de Oxígeno (%)

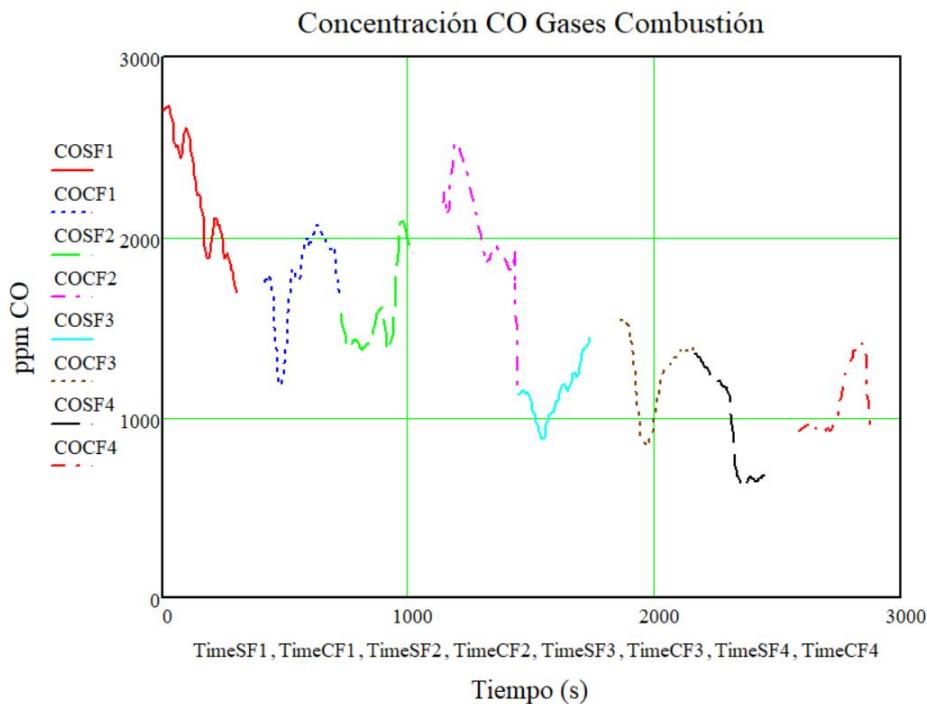


Figura 3.3; Concentración de CO (ppm)

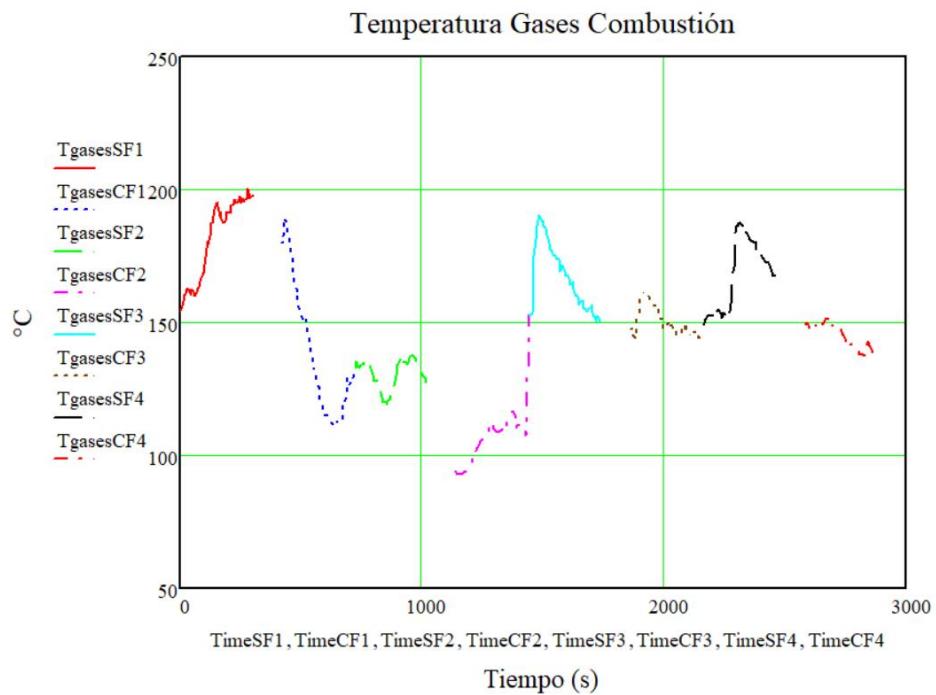


Figura 3.4; Temperatura de gases (°C)

3.3. Resultados Salvador Hernaez #279

Condiciones Operacionales:

MARCA COCINA	TIPO Y HUMEDAD LEÑA	TEMPERATURA HOGAR	OBSERVACIONES
Alcazar	Lenga – 15%	800 °C	Equipo con estanque agua caliente – Cocina mal estado

A continuación, en las figuras 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 se presentan los resultados para la concentración de material particulado, concentración de O₂, CO y temperatura de gases respectivamente.

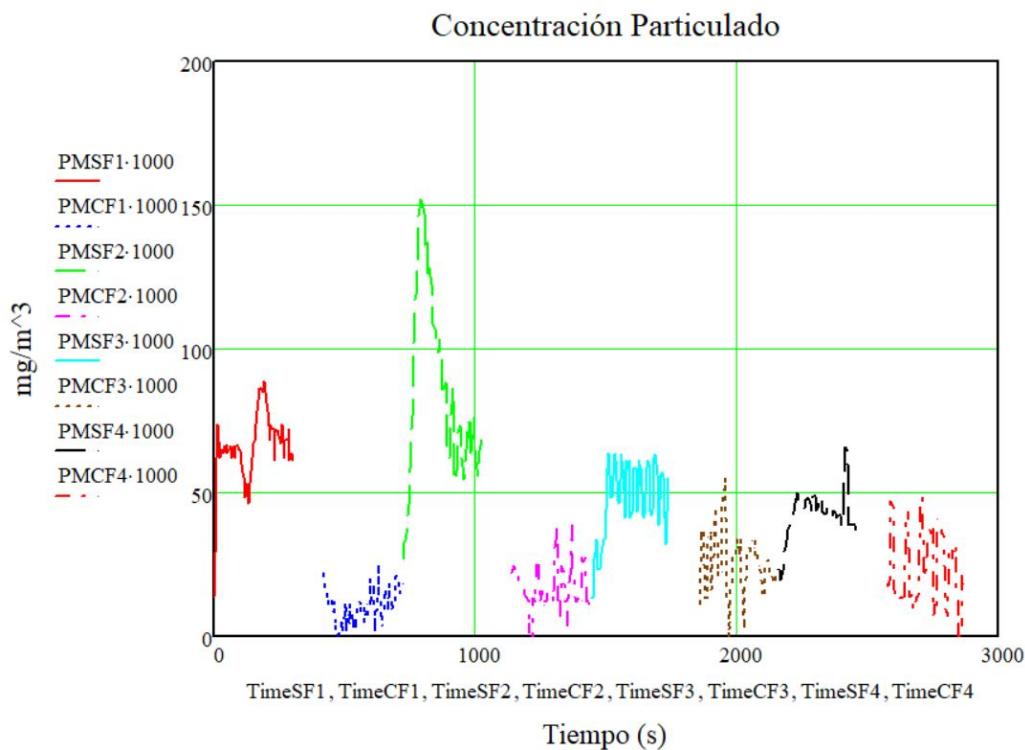


Figura 3.5; Concentración de material particulado (gr/m³)

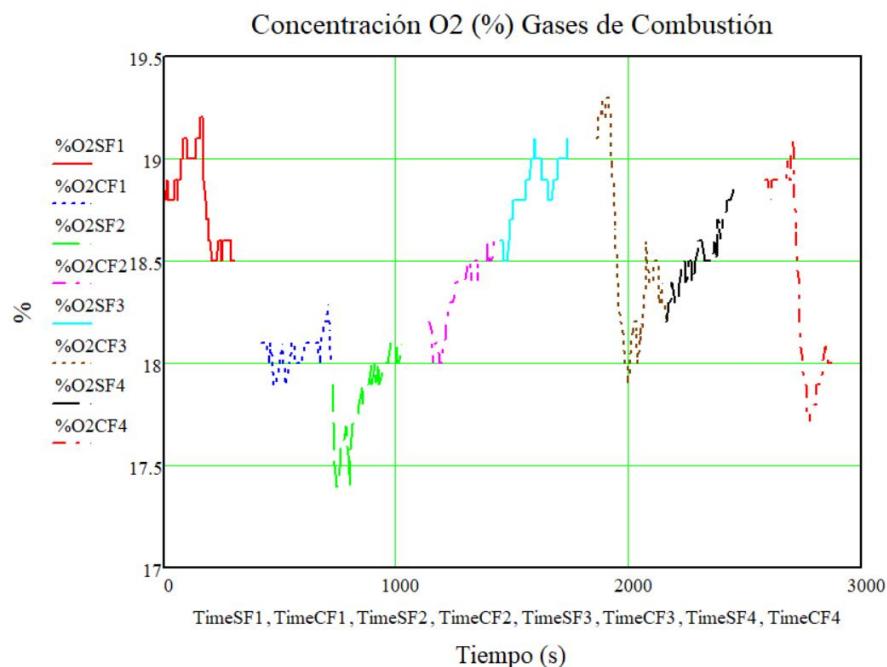


Figura 3.6; Concentración de Oxígeno (%)

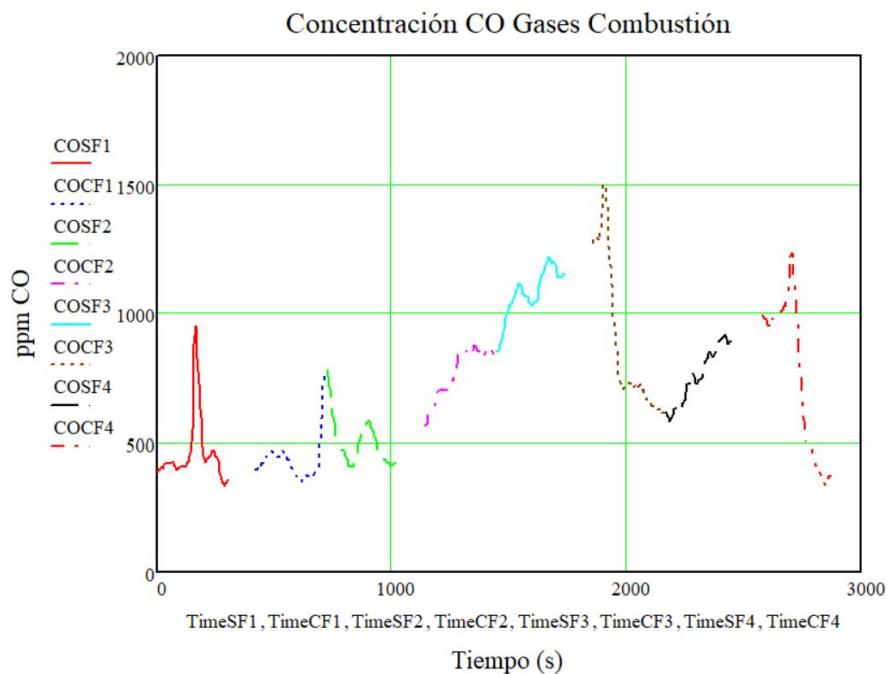


Figura 3.7; Concentración de CO (ppm)

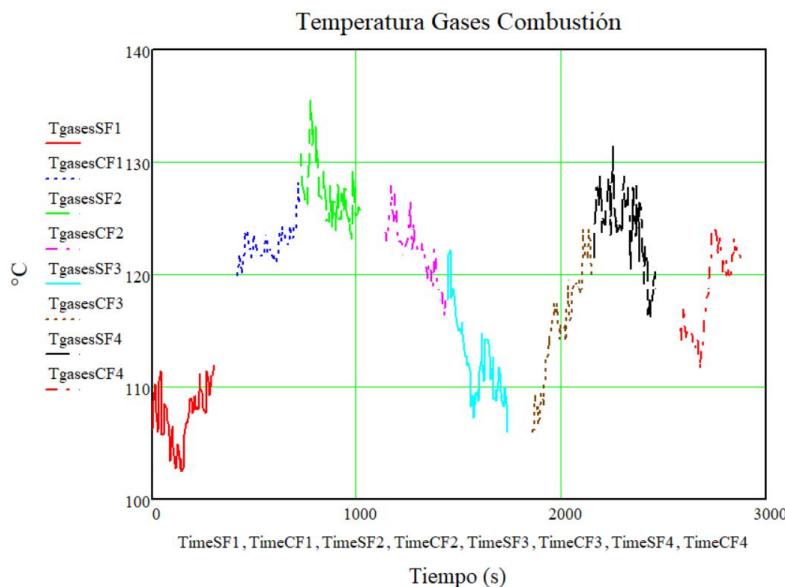


Figura 3.8; Temperatura de gases (°C)

3.4. Resultados William Sander #241

Condiciones Operacionales:

MARCA COCINA	TIPO Y HUMEDAD LEÑA	TEMPERATURA HOGAR	OBSERVACIONES
Kluguet	Lenga – 14,5%	800 °C	

A continuación, en las figuras 3.9, 3.10, 3.11 y 3.12 se presentan los resultados para la concentración de material particulado, concentración de O₂, CO y temperatura de gases respectivamente.

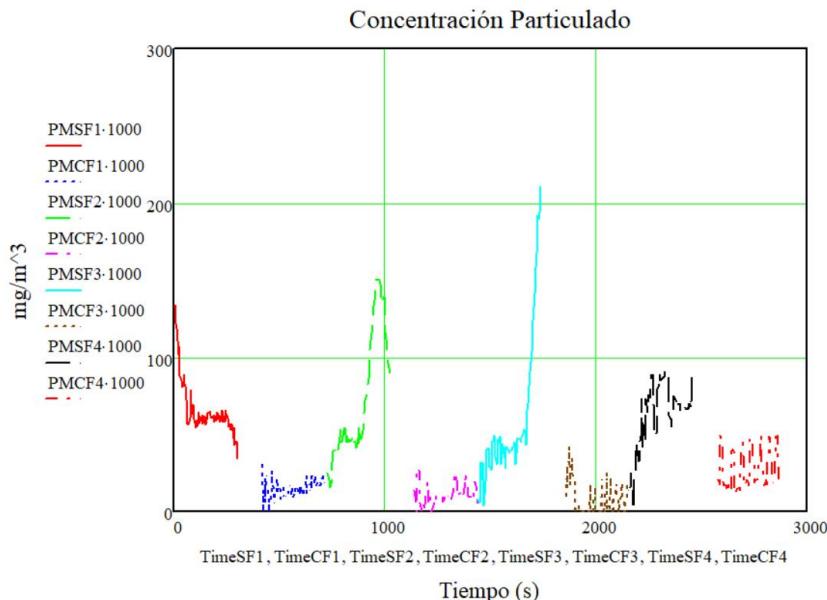


Figura 3.9; Concentración de material particulado (gr/m³)

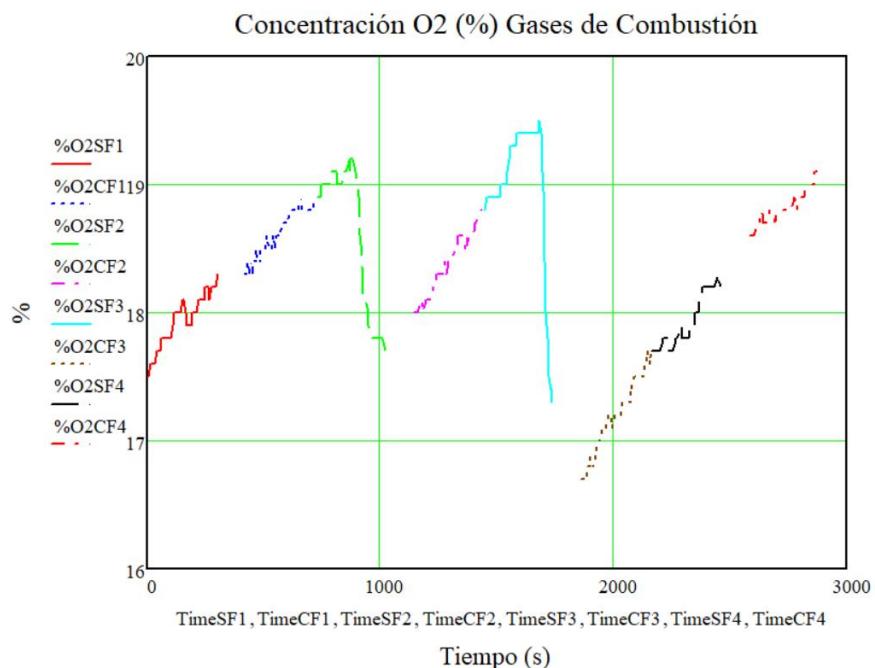


Figura 3.10; Concentración de Oxígeno (%)

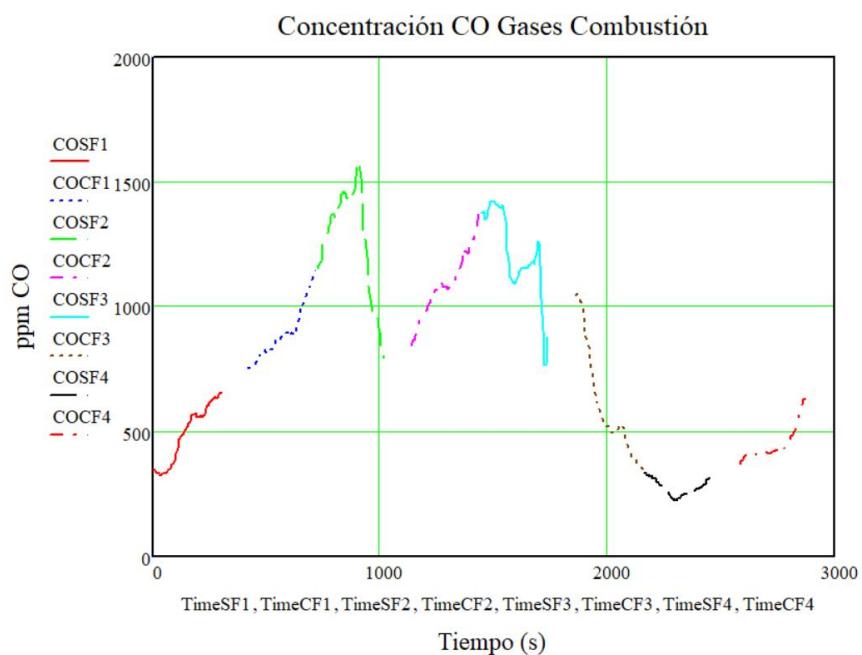


Figura 3.11; Concentración de CO (ppm)

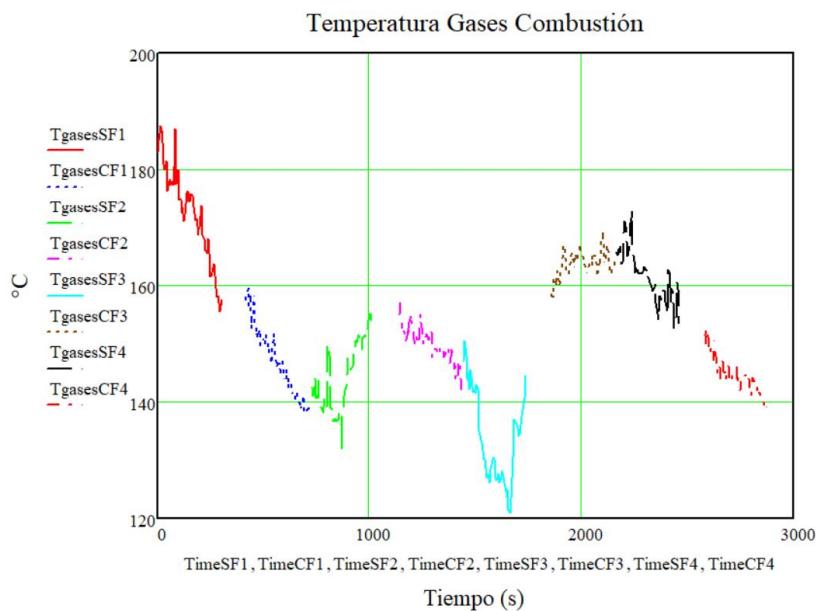


Figura 3.12; Temperatura de gases (°C)

3.5. Resultados Gabriela Mistral #585

Condiciones Operacionales:

MARCA COCINA	TIPO Y HUMEDAD LEÑA	TEMPERATURA HOGAR	OBSERVACIONES
Estufa a Leña Amesti	Lenga – 13%	400 °C	Estufa a Leña con filtro MPO (fabricación nacional)

A continuación, en las figuras 3.13 se presenta los resultados para la concentración de material particulado.

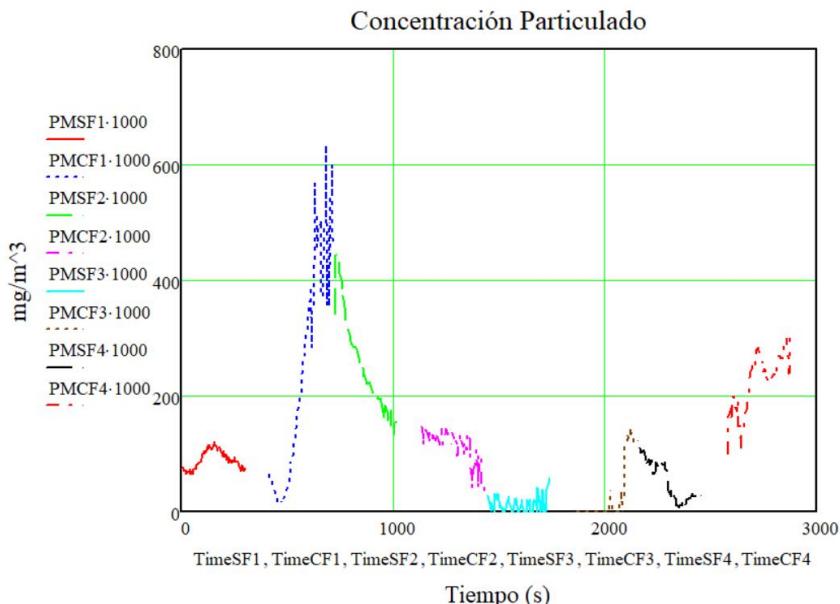


Figura 3.13; Concentración de material particulado (gr/m³)

Como se observa de la figura anterior, cuando el filtro se activa a veces suben o se mantienen los niveles de concentración de material particulado. Este comportamiento anormal, hace suponer que el filtro no se encuentra operativo toda vez que los respectivos Led de funcionamiento no estaban operativos. Por esta razón, esta medición no se incluirá en el análisis global.

3.6. Resultados Ensenada #432

Condiciones Operacionales:

MARCA COCINA	TIPO Y HUMEDAD LEÑA	TEMPERATURA HOGAR	OBSERVACIONES
Yunque	Lenga – 15% - 16%	650 °C	

A continuación, en las figuras 3.14, 3.15, 3.16 y 3.17 se presentan los resultados para la concentración de material particulado, concentración de O₂, CO y temperatura de gases respectivamente.

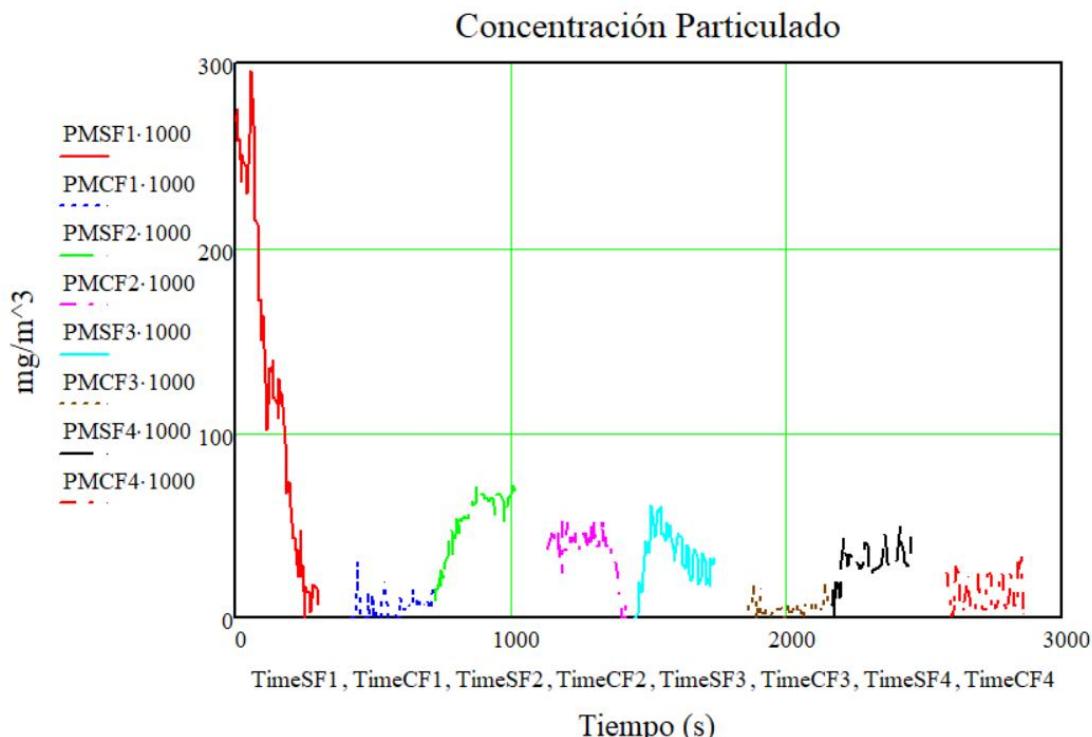


Figura 3.14; Concentración de material particulado (gr/m³)

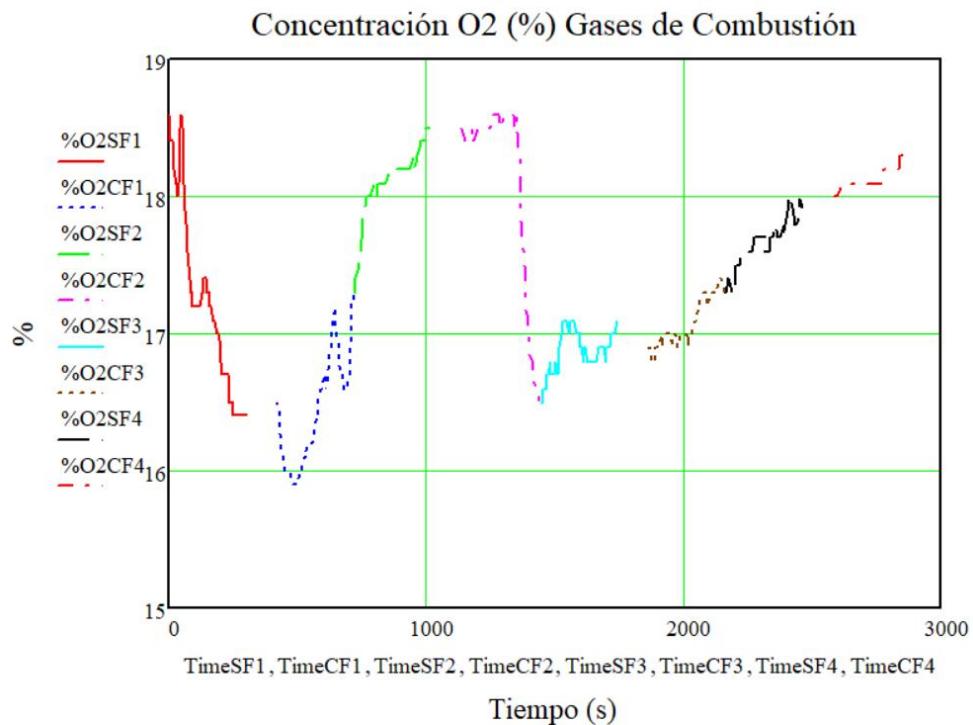


Figura 3.15; Concentración de Oxígeno (%)

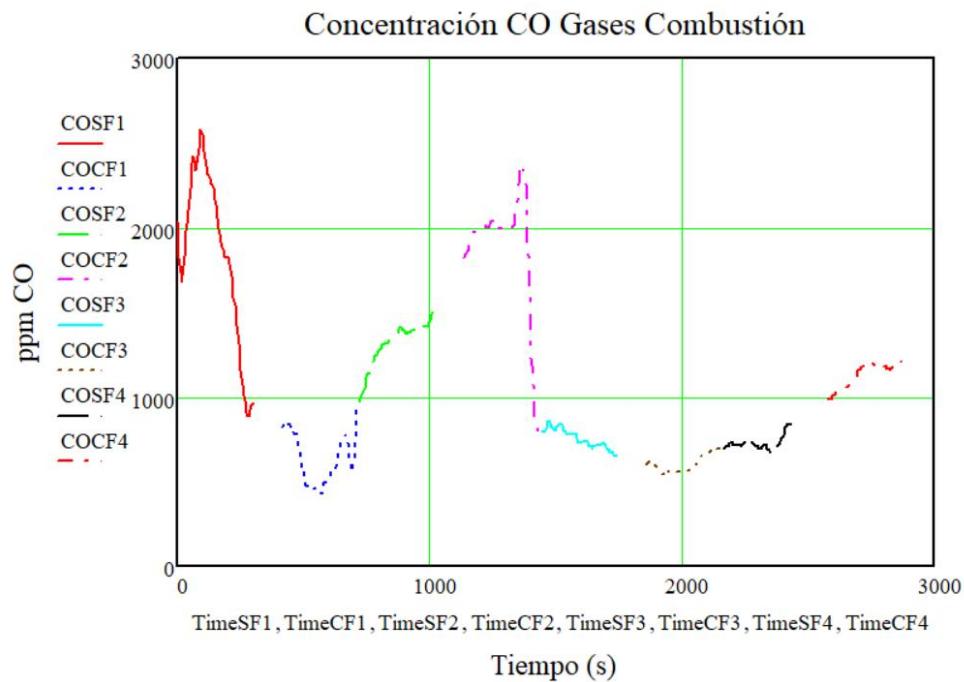


Figura 3.16; Concentración de CO (ppm)

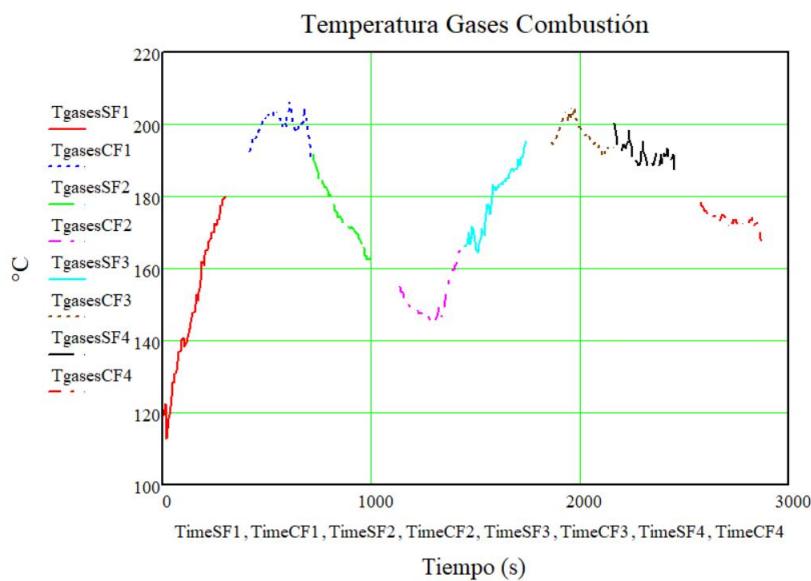


Figura 3.17; Temperatura de gases (°C)

3.7. Resultados Magallanes #535

Condiciones Operacionales:

MARCA COCINA	TIPO Y HUMEDAD LEÑA	TEMPERATURA HOGAR	OBSERVACIONES
Yunque	Lenga – 16%	600 °C	

A continuación, en las figuras 3.18, 3.19, 3.20 y 3.21 se presentan los resultados para la concentración de material particulado, concentración de O₂, CO y temperatura de gases respectivamente.

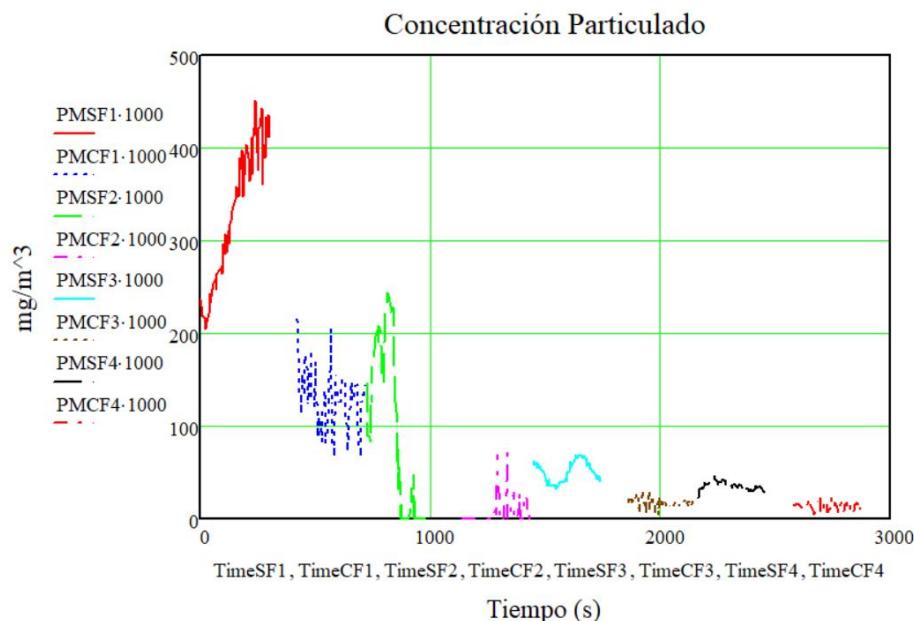


Figura 3.18; Concentración de material particulado (gr/m³)

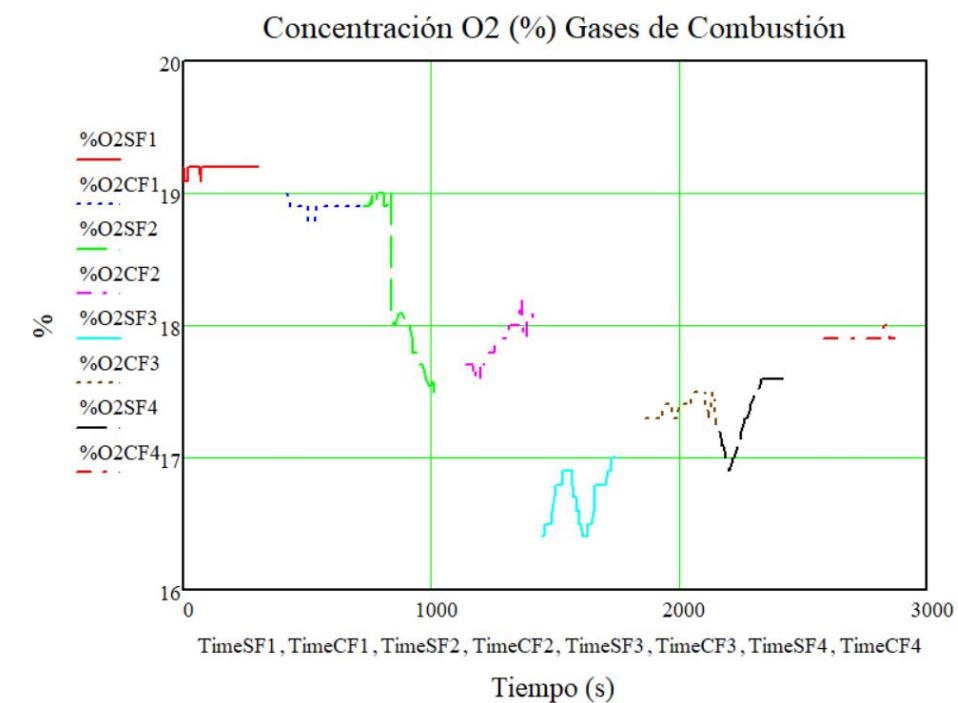


Figura 3.19; Concentración de Oxígeno (%)

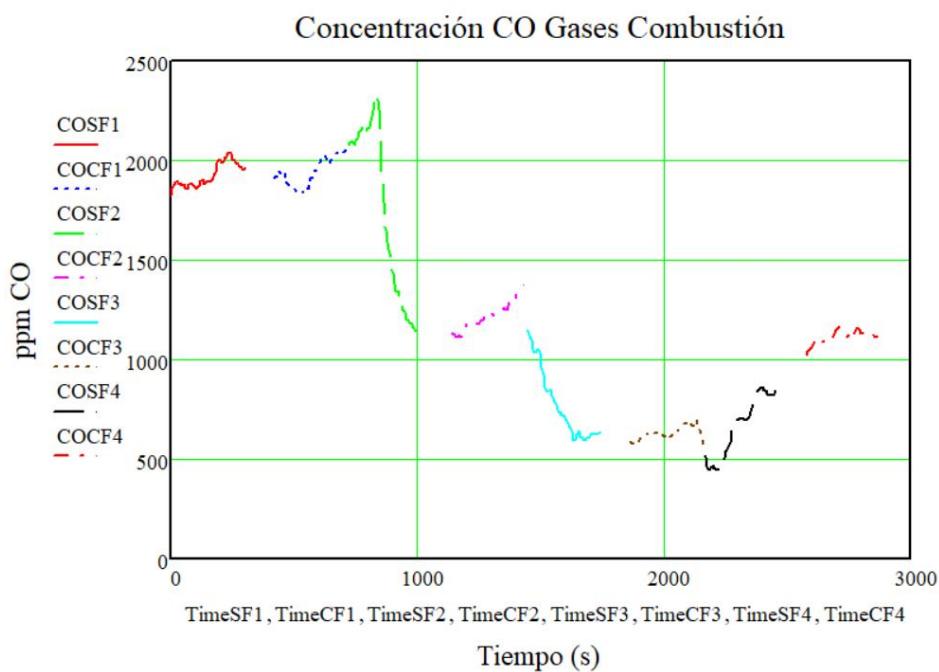


Figura 3.20; Concentración de CO (ppm)

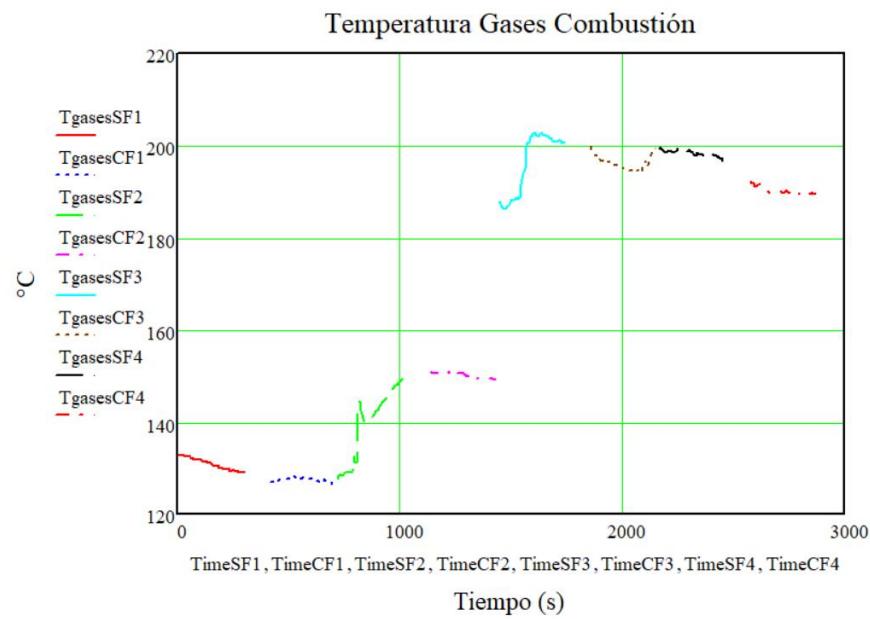


Figura 3.21; Temperatura de gases (°C)

3.8. Resultados Laboratorio Biomasa DIMEC-USACH

Como una forma de verificar el desempeño del electro filtro antes de las mediciones de campo, se realizó un ensayo acotado en el laboratorio de biomasa del DIMEC-USACH. El ensayo fue realizado con una cocina idéntica a las utilizadas en Coyhaique de acuerdo a la figura 2.3 y con uso de leña de eucaliptus con humedad del 10%.

Operacionalmente se procuró cargar con la máxima cantidad de leña el hogar de la cocina para tener condiciones de operación inestable y variable en la menor cantidad de tiempo. Los resultados de concentración de material particulado son mostrados en la figura 3.22.

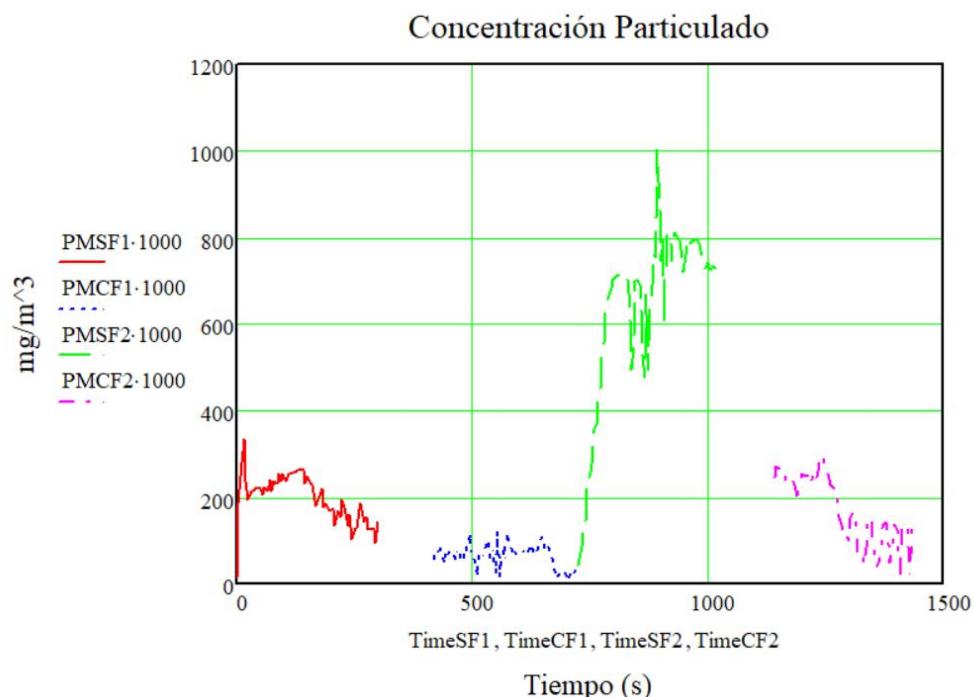


Figura 3.22; Concentración de material particulado (gr/m^3)

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Mediante diferentes pruebas de campo, se ha evaluado el desempeño ambiental de seis cocinas de combustión en Coyhaique que utilizan Lenga como combustible. Las mediciones buscaban verificar el porcentaje de abatimiento o mitigación de material particulado cuando un electro filtro es instalado en el ducto de descarga de gases de una cocina a leña. A pesar que el foco del estudio es cuantificar la concentración de material particulado, mediciones adicionales son reportadas para los niveles de oxígeno, monóxido de carbono y temperatura de los gases de combustión.

Los resultados porcentuales medios de mitigación de particulado, para cada cocina en estudio, cuando el filtro es activado se presentan a continuación.

UBICACIÓN DE EQUIPO	% MITIGACIÓN CICLO 1 ACTIVACIÓN ELECTRO FILTRO	% MITIGACIÓN CICLO 2 ACTIVACIÓN ELECTRO FILTRO	% MITIGACIÓN CICLO 3 ACTIVACIÓN ELECTRO FILTRO	% MITIGACIÓN CICLO 4 ACTIVACIÓN ELECTRO FILTRO	PROMEDIO GENERAL	OBSERVACIÓN
Hernaez 273	52,0	53,5	79,0	89,0	68,4	Leña húmeda
Hernaez 279	83,9	80,1	46,5	43,8	63,5	
William Sander 241	78,0	85	86,6	57,0	76,6	
Gabriela Mistral 585	Funcionamiento Irregular Filtro MPO					
Ensenada 432	95,5	86,0	35,5	57,6	68,7	
Magallanes 535	60,4	65,7	92,6	60,5	69,8	Filtro MPO
Laboratorio Biomasa USACH	66,8	73,3	-----	-----	70,1	
PROMEDIO GENERAL						69,5%

Los resultados de las respectivas mediciones permiten aseverar que:

- Para todas las mediciones realizadas y de manera sistemática, la activación o puesta en marcha de todos los filtros produce un impacto positivo de captura o mitigación de material particulado en los gases de combustión.

- Las magnitudes de impacto de un electro filtro es variable, de acuerdo a los resultados y en media se obtienen magnitudes en torno del 70%. No obstante, este valor puntualmente puede variar dependiendo de multiples variables operacionales de cada cocina.
- Entre las variables operacionales, se destaca que la temperatura de los gases de escape refleja una alta tasa de quemado de leña en la cámara de combustión de la cocina. Por consiguiente, se produce una gran generación de material particulado. En este punto, el electro filtro mantiene en general un alto nivel de desempeño.