

De:

Y. Ogor (Proactiva Col)  
G. Gijón (Proactiva Mex)

Para:

L. Archundia (Proactiva Mex)  
A. Perez (Proactiva Mex)  
A. Guyon (Proactiva Mex)  
C. Santiago (Proactiva Mex)

C.C:

F. Defeber (GRS)  
G. Crawford (VP DQE)  
L. Bondois (VP DQE)

**Informe de la eficiencia de combustión del quemador del relleno sanitario  
de Mérida, Yucatán, México.**



**1. Objetivo**

Conocer la eficiencia de combustión de la antorcha instalada en el relleno sanitario de Mérida, Yucatán, México, bajo las condiciones actuales de operación.



**2. Metodología**

Se realizaron las evaluaciones de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) y Oxígeno en la salida de la chimenea del quemador, contratando para ello a un laboratorio externo (Intertek Testing Services de México S.A. de C.V.) el cual se encargo de realizar los análisis en los términos de la metodología que autoriza o especifica la SEMARNAT.

Para la evaluación se emplearon las siguientes metodologías:

Method EPA – 25A

Determination of total gaseous organic concentration using a Flame Ionization Analyzer.

Method EPA – 3A

Determination of oxygen and carbon dioxide concentrations in emissions from stationary sources (Instrumental Analyzer Procedure).

Para la medición de los COV's se utilizó un analizador de gases marca Shimadzu, modelo HCM-1B y con número de serie C10103500526. Asimismo, para la medición del oxígeno se utilizó un analizador de gases de combustión marca Testo, modelo 330M-1 y con número de serie 00453202-011.

### 3. Procedimiento

El día 11 de julio de 2008 se midieron en forma continua durante 6 horas y a intervalos de 4 minutos, los COV's y el oxígeno en el puerto de monitoreo y en la salida de la chimenea del quemador (figura 1).



Figura 1. Análisis de COV's y oxígeno en la salida de la antorcha.



Figura 2. Medición de COV's en el punto de muestreo.

Cabe mencionar que el datalogger registra cada 4 minutos diez parámetros (*depresión, temperatura, presión absoluta, %CH<sub>4</sub>, %CO<sub>2</sub>, %O<sub>2</sub>, presión relativa, temperatura de combustión, flujo, estado de funcionamiento*) enviados a el, a través de diversos sensores y analizadores instalados; por lo cual en el periodo de tiempo de la evaluación, se monitorearon los gases a la entrada y salida del quemador.



El monitoreo inicio a las 9:07 de la mañana partiendo con los valores de la tabla 1.

Parámetro	Valor
CH <sub>4</sub> (%)	33.4
CO <sub>2</sub> (%)	28.5
O <sub>2</sub> (%)	3.3
Q (Nm <sup>3</sup> /h)	188
T biogas (°C)	49.2
Prel BG (mbars)	-61
T comb (°C)	834

**Tabla 1. Condiciones iniciales del muestreo.**

Aproximadamente a las 12:31 las condiciones de operación del quemador se modificaron, al disminuir la presión de aspiración del soplador de -62 a -49 mbars, con el fin de representar las condiciones críticas de funcionamiento del sistema. Los valores del datalogger para estas condiciones se muestran en la tabla 2.

Parámetro	Valor
CH <sub>4</sub> (%)	28.1
CO <sub>2</sub> (%)	26.3
O <sub>2</sub> (%)	3.9
Q (Nm <sup>3</sup> /h)	165
T biogas (°C)	55.6
Prel BG (mbars)	-50
T comb (°C)	729

**Tabla 2. Condiciones críticas del muestreo.**

El análisis concluyo a las 15:34 horas.

La evaluación de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) y Oxígeno en la salida de la chimenea del quemador, se presentaron en el "Informe Técnico correspondiente al estudio de evaluación de las emisiones de contaminantes a la atmósfera realizado al quemador de biogás"

#### 4. Resultados

De la evaluación anterior se obtuvieron los valores más desfavorables de O<sub>2</sub> (%) y CH<sub>4</sub> (ppm) medidos en la salida de la chimenea del quemador (tabla 3) para calcular la eficiencia de combustión, utilizando la metodología MDL (tool to determine project emissions from flaring gases containing methane)

Parámetro	Valor
O <sub>2</sub> (%)	13.77
CH <sub>4</sub> (ppm)	30

**Tabla 3. Valores críticos utilizados para calcular la eficiencia del quemador.**

La eficiencia de combustión del quemador se calculó bajo dos condiciones de funcionamiento: normal y crítica (baja temperatura de combustión). En ambas condiciones de acuerdo a los cálculos, se alcanzó un 99.9% de eficiencia (Tabla 4), lo cual significa que con una potencia térmica a la entrada de 4.6% la destrucción del metano es aceptable; trabajando mejor que las especificaciones de GRS (funcionamiento entre 20 - 100% de la capacidad).



Parámetros	Unidades	Condiciones promedias	Condiciones con temperatura mas baja
Flujo en condiciones normalizadas	Nm <sup>3</sup> /h	177	160
%CH <sub>4</sub> biogas	%	29.5	21.5
%CO <sub>2</sub> biogas	%	26.92	19.1
%O <sub>2</sub> biogas	%	3.69	8.1
%O <sub>2</sub> gas de salida (80% altura chimenea)	%	13.77	13.77
ppmv CH <sub>4</sub> gas de salida (80% altura chimenea)	ppmv	30	30
Temperatura de funcionamiento del quemador	°C	756	695
<b>Eficiencia de combustión</b>	%	<b>99.91%</b>	<b>99.91%</b>
Potencia biogas quemada	kW	522.15	344
% / Potencia antorcha (7500 kW)	%	6.96%	4.59%



**Tabla 4. Resultados de la eficiencia del quemador bajo condiciones normales y críticas de funcionamiento**

## 5. Conclusión

Como resultado de esta evaluación podemos confirmar de manera muy conservadora, que con una temperatura de combustión mayor de 700°C, tendremos una eficiencia de combustión mayor del 90% y asimismo, de acuerdo a la metodología MDL, si la temperatura de combustión se encuentra en el rango de 500°C a 700°C, la eficiencia de combustión será del 50%.



Hasta el momento la temperatura de combustión en la cual el quemador ha operado, ha sido en promedio de 700°C; para el periodo de tiempo que duro esta evaluación (6 horas) las temperaturas de combustión mínima y máxima registradas fueron de 695 y 835°C respectivamente.

## 6. Anexos

1. Informe técnico correspondiente al estudio de evaluación de las emisiones de contaminantes a la atmósfera realizado al quemador de biogás.
2. Datos registrados por el datalogger en el período de evaluación.
3. Gráficos del datalogger (calidad de biogás y flujo) en el período de inicio y termino de la evaluación.
4. Cálculo de la eficiencia de combustión.

## Calculo de la eficiencia de combustión bajo condiciones promedio

### Measured parameters

Parameter	Name	Value	SI Unit
Real flow biogas	Q bgz		m <sup>3</sup> /h
Temperature biogas	T Bgz		°C
Absolute pressure biogas	Pabs Bgz		mbars
Volumetric flow rate of biogas	FV RG	177	Nm <sup>3</sup> /h
%CH <sub>4</sub> biogaz	CH <sub>4</sub> Bgz	29.5	%
%CO <sub>2</sub> biogaz	CO <sub>2</sub> Bgz	26.92	%
%O <sub>2</sub> biogaz	O <sub>2</sub> BGZ	3.69	%
%O <sub>2</sub> exhaust gases (80% H)	O <sub>2</sub> Fum	13.77	%
ppmv CH <sub>4</sub> exhaust gases (80% H)	CH <sub>4</sub> Fum	30	ppmv

### Constants used in equations

Parameter	Name	Value	SI Unit
Volume of one mole of any ideal gas at normal cond.	MV	22.414	m <sup>3</sup> /kmol
Atomic mass of nitrogen	AMn	14.01	kg/kmol
Atomic mass of carbon	AMc	12	kg/kmol
Atomic mass of hydrogen	AMh	1.01	kg/kmol
Atomic mass of oxygen	AMo	16	kg/kmol
Atmospheric pressure at normal conditions	Pn	101,325	Pa
Universal ideal gas constant	Ru	8,314	Pa.m <sup>3</sup> /kmol.K
Temperature at normal conditions	Tn	273.15	°K
Global warming potential of methane	GWPOCH <sub>4</sub>	21	tCO <sub>2</sub> e/tCH <sub>4</sub>
Density of CH <sub>4</sub>	Dens CH <sub>4</sub>	0.716	kg/m <sup>3</sup>

### Calculated parameters

Parameter	Name	Value	SI Unit
Volumetric flow rate of biogas	FV RG	177.00	Nm <sup>3</sup> /h

#### STEP 1 : Determination of the mass flow rate of the residual gas that is flared

Molecular mass - Biogas	MM RG	28.93	kg/kmol
Density - Biogas	r RG	1.29	kg/m <sup>3</sup>
Mass flow rate - Biogas	FM RG	228.51	kg/h

#### STEP 2 : Determination of the mass fraction of carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen in the residual gas

Mass fraction of C	Fm C	0.23	No unit
Mass fraction of H	Fm H	0.04	No unit
Mass fraction of O	Fm O	0.34	No unit
Mass fraction of N	Fm N	0.39	No unit

#### STEP 3 : Determination of the volumetric flow rate of the exhaust gas on a dry basis

Stoichiometric quantity of moles of O <sub>2</sub> required for a complete combustion	Fh	0.019	kmol O <sub>2</sub> /kg Biogas
Quantity of moles O <sub>2</sub> in the exhaust gas	nO <sub>2</sub>	0.042	kmol /kg Biogas
Quantity of CO <sub>2</sub> volume free in the exhaust gas	V CO <sub>2</sub>	0.437	m <sup>3</sup> /kg biogas
Quantity of O <sub>2</sub> volume free in the exhaust gas	V O <sub>2</sub>	0.943	m <sup>3</sup> /kg biogas
Quantity of N <sub>2</sub> volume free in the exhaust gas	V N <sub>2</sub>	5.468	m <sup>3</sup> /kg biogas
Volume of the exhaust gas of the flare	V FG	6.849	m <sup>3</sup> /kg biogas
Volumetric flow rate - Exhaust gas	TV FG	1564.9	Nm <sup>3</sup> /h

#### STEP 4 : Determination of methane mass flow rate in the exhaust gas on a dry basis

Mass flow rate of methane - Exhaust gas	TM FG	0.0	kg/h
---	-------	-----	------

#### STEP 5 : Determination of methane mass flow rate in the residual gas on a dry basis

Mass flow rate of methane - Biogas	TM RG	37.4	kg/h
------------------------------------	-------	------	------

#### STEP 6 : Determination of the hourly flare efficiency

Flare efficiency	Eff Flare	99.91%	%
------------------	-----------	--------	---

#### STEP 6 : Calculation of CERs

Emissions reductions (number of CERs)	CERs	0.8	tCO <sub>2</sub> e /h
---------------------------------------	------	-----	-----------------------

## Calculo de la eficiencia de combustión bajo condiciones críticas

### Measured parameters

Parameter	Name	Value	SI Unit
Real flow biogas	Q bgz		m <sup>3</sup> /h
Temperature biogas	T Bgz		°C
Absolute pressure biogas	Pabs Bgz		mbars
Volumetric flow rate of biogas	FV RG	160	Nm <sup>3</sup> /h
%CH <sub>4</sub> biogaz	CH <sub>4</sub> Bgz	21.5	%
%CO <sub>2</sub> biogaz	CO <sub>2</sub> Bgz	19.1	%
%O <sub>2</sub> biogaz	O <sub>2</sub> BGZ	8.1	%
%O <sub>2</sub> exhaust gases (80% H)	O <sub>2</sub> Fum	13.77	%
ppmv CH <sub>4</sub> exhaust gases (80% H)	CH <sub>4</sub> Fum	30	ppmv

### Constants used in equations

Parameter	Name	Value	SI Unit
Volume of one mole of any ideal gas at normal cond.	MV	22.414	m <sup>3</sup> /kmol
Atomic mass of nitrogen	AMn	14.01	kg/kmol
Atomic mass of carbon	AMc	12	kg/kmol
Atomic mass of hydrogen	AMh	1.01	kg/kmol
Atomic mass of oxygen	AMo	16	kg/kmol
Atmospheric pressure at normal conditions	Pn	101,325	Pa
Universal ideal gas constant	Ru	8,314	Pa.m <sup>3</sup> /kmol.K
Temperature at normal conditions	Tn	273.15	°K
Global warming potential of methane	GWPOCH <sub>4</sub>	21	tCO <sub>2</sub> e/tCH <sub>4</sub>
Density of CH <sub>4</sub>	Dens CH <sub>4</sub>	0.716	kg/m <sup>3</sup>

### Calculated parameters

Parameter	Name	Value	SI Unit
Volumetric flow rate of biogas	FV RG	160.00	Nm <sup>3</sup> /h

#### STEP 1 : Determination of the mass flow rate of the residual gas that is flared

Molecular mass - Biogas	MM RG	28.82	kg/kmol
Density - Biogas	r RG	1.29	kg/m <sup>3</sup>
Mass flow rate - Biogas	FM RG	205.73	kg/h

#### STEP 2 : Determination of the mass fraction of carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen in the residual gas

Mass fraction of C	Fm C	0.17	No unit
Mass fraction of H	Fm H	0.03	No unit
Mass fraction of O	Fm O	0.30	No unit
Mass fraction of N	Fm N	0.50	No unit

#### STEP 3 : Determination of the volumetric flow rate of the exhaust gas on a dry basis

Stoichiometric quantity of moles of O <sub>2</sub> required for a complete combustion	Fh	0.012	kmol O <sub>2</sub> /kg Biogas
Quantity of moles O <sub>2</sub> in the exhaust gas	nO <sub>2</sub>	0.031	kmol /kg Biogas
Quantity of CO <sub>2</sub> volume free in the exhaust gas	V CO <sub>2</sub>	0.316	m <sup>3</sup> /kg biogas
Quantity of O <sub>2</sub> volume free in the exhaust gas	V O <sub>2</sub>	0.694	m <sup>3</sup> /kg biogas
Quantity of N <sub>2</sub> volume free in the exhaust gas	V N <sub>2</sub>	4.032	m <sup>3</sup> /kg biogas
Volume of the exhaust gas of the flare	V FG	5.042	m <sup>3</sup> /kg biogas
Volumetric flow rate - Exhaust gas	TV FG	1037.3	Nm <sup>3</sup> /h

#### STEP 4 : Determination of methane mass flow rate in the exhaust gas on a dry basis

Mass flow rate of methane - Exhaust gas	TM FG	0.0	kg/h
---	-------	-----	------

#### STEP 5 : Determination of methane mass flow rate in the residual gas on a dry basis

Mass flow rate of methane - Biogas	TM RG	24.6	kg/h
------------------------------------	-------	------	------

#### STEP 6 : Determination of the hourly flare efficiency

Flare efficiency	Eff Flare	99.91%	%
------------------	-----------	--------	---

#### STEP 6 : Calculation of CERs

Emissions reductions (number of CERs)	CERs	0.5	tCO <sub>2</sub> e /h
---------------------------------------	------	-----	-----------------------

## Resumen de resultados

Parametros	SI Unit	Condiciones promedias	Condiciones con temperatura mas baja
Flujo en condiciones normalizadas	Nm3/h	177	160
%CH4 biogas	%	29.5	21.5
%CO2 biogas	%	26.92	19.1
%O2 biogas	%	3.69	8.1
%O2 gas de salida (80% altura)	%	13.77	13.77
ppmv CH4 gas de salida (80% altura)	ppmv	30	30
Temperatura de funcionamiento del quemador	°C	756	695
<b>Eficiencia de combustión</b>	<b>%</b>	<b>99.91%</b>	<b>99.91%</b>
Potencia biogas quemada	kW	522.15	344
<b>% / Potencia antorcha (7500 kW)</b>	<b>%</b>	<b>6.96%</b>	<b>4.59%</b>