



Cómo afectan los componentes indeseables del biogás (H₂S, siloxanos e hidrocarburos) en los auxiliares del motor de generación eléctrica

Catalizador, silencioso y chimenea

Joaquín Reina Herdz

Energy & Waste Condorchen group

En el presente artículo se presentan los resultados de un trabajo de investigación llevado a cabo en un vertedero controlado con el fin de conocer cómo afectan los componentes indeseables del biogás (H₂S, siloxanos e hidrocarburos) en los gases de escape del motor y su influencia en diferentes partes de este como: catalizador, silencioso y chimeneas. Los resultados reflejan la necesidad de la limpieza del biogás ante su aplicación en la producción de electricidad.

PALABRAS CLAVE: Biogás, Vertedero, Contaminantes, Catalizador, Limpieza

This article presents the results of a research work carried out in a controlled landfill in order to know how the undesirable components of biogas (H₂S, siloxanes and hydrocarbons) affect the engine exhaust gases and their influence on different parts of it like: catalyst, silencer and fireplaces. The results reflect the need for biogas cleaning in view of its application in electricity production.

KEYWORDS: Biogas, Landfill, Pollutants, Catalyst, Cleaning

INTRODUCCIÓN

Los vertederos, rellenos sanitarios o basureros son aquellos lugares donde se deposita finalmente la basura. Esto vertederos pueden ser oficiales o clandestinos. Es importante destacar que los vertederos, sean controlados o clandestinos, siempre generan contaminación. Cuando los residuos se descomponen, se liberan gases tóxicos a la atmósfera. La descomposición de estos residuos también puede afectar el agua subterránea debido a la producción de lixiviados, que muchas veces contaminan el manto freático.

El gas que se obtiene de la descomposición no controlada de la fracción orgánica de estos residuos se conoce como biogás. Este gas se caracteriza por su elevada concentración en metano (CH_4), el cual le da su característica como combustible. Otros componentes que acompañan al biogás son el H_2S , los siloxanos y los hidrocarburos, todos ellos perjudiciales para su uso en la generación de energía.

Cuando el biogás se usa para la producción de energía eléctrica, como resultado del proceso de transformación, se producen gases. Estos gases son los que salen a la atmósfera a través de un conducto (chimenea) procedente del motor (máquina generadora).

DESARROLLO

La mejor opción de gestión del biogás de un vertedero controlado es su uso en la generación de energía. Con ello se evitan las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y, por otro lado, se satisfacen las necesidades energéticas de la propia instalación. En el proceso de producción de energía se producen los gases de escape del motor que contienen. Además de sustancias inocuas, como el vapor de agua, dióxido de carbono y nitrógeno, también se producen otras sustancias nocivas para las personas y/o el medio ambiente, como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de azufre (SO_x) y óxido de nitrógeno (NO_x). Claro está que el grado de

» La mejor opción de gestión del biogás de un vertedero controlado es su uso en la generación de energía. Con ello se evitan las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera

nocividad de estos gases de escapes está directamente relacionado con la calidad del combustible que emplea. Entre sus emisiones destacan, por su efecto sobre el medioambiente, los gases siguientes.

EMISIONES DE NOX

Los óxidos de nitrógeno son óxidos gaseosos de nitrógeno (N). Se abrevian como NO_x porque existen muchos compuestos posibles con diferente número de átomos: N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , etc.

Para las aplicaciones de motores a gas natural sin SCR-catalizadores se establece una concentración de hasta $190 \text{ mg/Nm}^3 \text{ NO}_x @15 \% \text{ O}_2$ para cumplir con los nuevos límites de emisiones de NO_x para las instalaciones medianas de combustión.

EMISIONES DE SO_x Y PARTÍCULAS

El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso es un gas incoloro, de olor penetrante, no combustible, que propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene solo en una medida muy reducida en los gases de escape. Si se reduce el contenido de azufre en el combustible, es posible disminuir las emisiones de dióxido de azufre

Las emisiones de dióxido de azufre están ligadas a la concentración de esta sustancia en el gas combustible

Algunos proveedores limitan la cantidad de este compuesto en los motores de acuerdo con los siguientes límites referidos a 10 kWh PCI :

a) Menos de 2.200 mg = gas de baja calidad.

b) Menos de 440 mg = gas de calidad media.

c) Menos de 15 mg = gas de alta calidad.

Si la nueva regulación en España requiere niveles de SO_2 de $60 \text{ mg/Nm}^3 @15 \% \text{ O}_2$, las nuevas plantas la cantidad de sulfuro (H_2S) en el biogás debería estar siempre por debajo de 250 mg por 10 kWh PCI

PARTÍCULAS

La emisión de partículas está impactada por el proceso de combustión y el consumo de aceite del motor. Los motores, en forma general, tienen una combustión muy limpia y muy bajo consumo de aceite; por este motivo cumple, incluso con la normativa que aplica en Cataluña, que es la más restrictiva, $50 \text{ mg/Nm}^3 @ 5 \% \text{ O}_2$.

EMISIONES DE CO

El monóxido de carbono (también denominado anhídrido carbonoso) es un gas inodoro, incoloro y insabor. La combinación de carbono y oxígeno se genera debido a la combustión incompleta de sustancias carbonosas y es altamente tóxico.

1. Las emisiones de CO están influenciadas por la calidad del gas y las condiciones de operación.

2. En algunas aplicaciones se necesita la instalación de catalizadores de oxidación para cumplir con los requerimientos de emisiones de CO $850 \text{ mg/Nm}^3 @ 5 \% \text{ O}_2$.

3. El uso de catalizadores de oxidación en las aplicaciones de biogás es solo posible si el gas combustible

ha sido tratado por un sistema de desulfuración hasta valores de máx. de 10-5 mg/Nm³ sulfhídrico.

HIDROCARBUROS (HC)

Los hidrocarburos son compuestos químicos que solo contienen carbono (C) e hidrógeno (H). Son restos no quemados del combustible, que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. Algunos compuestos de hidrocarburos pueden producir cáncer.

El Gobierno publicó recientemente el Real Decreto 1042/2017, que modifica la Ley 34/2007, aplicable a las instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal igual o superior a 1 MW, e inferior a 50 MW (instalaciones de combustión medianas), cualquiera que sea el combustible utilizado, y que, por lo tanto, afecta a la planta de biogás. Pero la fecha mínima de cumplimiento es 2025, y solo se establecen los siguientes valores límite expresados en la Tabla 1.

PROBLEMÁTICA

Una de las operaciones típicas de los vertederos en la gestión de sus efluentes es la desgasificación de este y, con ello, la gestión del biogás generado, el cual, usualmente, se suele usar para la producción de energía vía motores de combustión.

Por lo general los vertederos controlados utilizan estas tecnologías para la

extracción y gestión del biogás. Sobre el motor y las partes que forman el sistema de conducción de los gases de escape se ha centrado el trabajo de investigación llevado a cabo, debido a que:

a) Muchas instalaciones cuenta con un catalizador para el control del monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos no metano (NMHC), compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y el formaldehído (CH₂O) emitido por el motor en los gases de escape. Por tal motivo, el ensuciamiento de este dispositivo por la presencia de polvo y vapores incide en la pérdida de eficacia del mismo.

b) La oxidación del circuito de gases de escape y silenciador del motor, debido a la presencia de compuestos como el dióxido de azufre (SO₂), el trióxido (SO₃) y vapores ácido que constituyen gases altamente corrosivos.

c) La presencia de siloxanos y sulfuro de hidrógeno (H₂S) en la corriente de biogás. Ambos componentes son dañinos para las prestaciones de los motores de generación de energía.

Algunas instalaciones de aprovechamiento del biogás en los vertederos no cuentan con un sistema de limpieza del biogás que permita eliminar dichos componentes antes de entrar a motor para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de generación de energía.

Por todo ello es de esperar que estos componentes afecten tanto a la operación del motor como a sus emisiones, incluyendo los auxiliares del motor conectado en la línea de escape.

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo fue investigar los problemas que crean los contaminantes del biogás procedente de un vertedero (humedad, siloxanos, hidrocarburos y H₂S) en los auxiliares del motor.

Para ello se desarrollaron diferentes analíticas que abarcan al biogás, gases de escape, lubricante del motor, con la finalidad de conocer la influencia que tiene la composición del biogás

sobre la operación del motor (contaminación del aceite de lubricación y la calidad de sus emisiones -gases de escape-) a la atmosfera. Este último enfocado en aquellos contaminantes que tiene influencia en la calidad de estas emisiones, como son el dióxido de azufre (SO₂), el trióxido de azufre (SO₃) y los aldehídos.

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

El vertedero bajo estudio cuenta con el sistema de captación y aprovechamiento del biogás. Tiene una producción de biogás de alrededor 550 Nm³/h. El sistema de generación a biogás está formado por motores Guacor, con una producción eléctrica aproximada de 1 MW.

ANALÍTICAS REALIZADAS

Para el desarrollo de este estudio se realizaron diferentes analíticas con el fin de conocer la influencia que tiene el biogás y su composición actual en las prestaciones del sistema de producción de energía (motor a biogás). Estas analíticas son:

a) **Del biogás**, con el fin de conocer la composición del biogás y su posible variabilidad con el tiempo, así como determinar los diferentes tipos de contaminantes y sus concentraciones. Esta analítica constituye la base para conocer qué técnicas/método de limpieza se pueden aplicar para su eliminación.

b) **Del aceite de lubricación**, para conocer cómo afectan los contaminantes del biogás en el grado de contaminación del aceite y la concentración de silicio presente en el mismo.

c) **De los gases de escape**, con el fin de conocer su composición y determinar la presencia de compuestos de azufre, como el SO₂ y el SO₃ (altamente corrosivos y tóxico), así como la presencia de formaldehídos dañinos a la salud humana.

d) **La caída de presión en el catalizador**, como medida para conocer el grado de ensuciamiento en el tiempo de operación debido a la posible presencia de polvo y partículas;

TABLA 1.

VALORES LÍMITES REPORTADOS POR EL GOBIERNO PARA EL SO₂ Y NOX SEGÚN REAL DECRETO 1042/2017 Y VALOR LÍMITE PARA EL CO REPORTADO POR AUTORIZACIÓN AMBIENTAL INTEGRADA (AAI)

Componentes Chimenea del Motor	Valores límites (mg/Nm ³)
SO ₂	≤ 60
NOx = NO ₂	≤ 190
CO	≤ 580

FIGURA 1. Resultados de las analíticas realizadas al biogás durante las campanas de octubre y noviembre del 2018

ENTRADA PLANTA TRATAMIENTO BIOGAS			
Parámetro	Unidad	23/10/2018	20/11/2018
Humedad "in situ"	Vol-%	2,56	2,19
Compuestos permanentes			
Metano	Vol-%	55,5	54,3
Dióxido de Carbono	Vol-%	33,8	33,9
Oxígeno	Vol-%	1,1	1,2
Nitrógeno	Vol-%	9,4	10,3
Hidrogeno	ppm	<3	33
Gases traza inorgánicos			
Ácido Sulfhídrico	mg/m ³ N	1360	1820
Hidrocarburos halogenados			
Diclorodifluorometano (F12)	mg/m ³ N	1,1	0,9
Cloruro de vinilo	mg/m ³ N	1,1	1,5
Triclorofluorometano (F11)	mg/m ³ N	0,2	0,2
1,1-Dicloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Diclorometano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
1,1,2-Tricloro-1,2,2-trifluoroetano (F113)	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Trans-1,2-Dicloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
1,1-Dicloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
cis-1,2-Dicloroetano	mg/m ³ N	0,8	1,1
Triclorometano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
1,2-Dicloroetano	mg/m ³ N	0,2	0,3
1,1,1-Tricloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Tetraclorometano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Tricloroetano	mg/m ³ N	0,2	0,2
1,1,2-Tricloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Tetracloroetano	mg/m ³ N	0,3	0,3
1,1,1,1,2-Tetracloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
BTEX			
Benceno	mg/m ³ N	1,6	2,3
Tolueno	mg/m ³ N	21,1	26,7
Etilbenceno	mg/m ³ N	9,9	13,8
m- p- Xileno	mg/m ³ N	18,9	27,2
o- xileno	mg/m ³ N	4,3	5,6
Compuestos del silicio			
Tetrametilsilano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Trimetilsilanol	mg/m ³ N	2,2	1,9
Hexametildisiloxano (L2)	mg/m ³ N	0,7	0,7
Hexametilciclotrisiloxano (D3)	mg/m ³ N	0,1	<0,1
Octametiltrisiloxano (L3)	mg/m ³ N	0,1	<0,1
Octamethylcycloctetrasiloxane (D4)	mg/m ³ N	3,1	2,0
Decametiltetrasiloxano (L4)	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Decametiliclopentasiloxano (D5)	mg/m ³ N	2,5	0,1
Suma compuestos de silicio (calc.)	mg/m ³ N	8,7	4,7
Suma de silicio(calc.)	mg/m ³ N	3,1	1,6
Hidrocarburos			
>n-pentano <=n-decano	mg/m ³ N	170	146
>n-decano	mg/m ³ N	144	121

ENTRADA PLANTA TRATAMIENTO BIOGAS			
Parámetro	Unidad	23/10/2018	20/11/2018
Mercaptanos			
Metanotiol	mg/m ³ N	<0,5	1,3
Etanotiol	mg/m ³ N	0,6	0,7
Sulfuro de dimetilo	mg/m ³ N	0,7	<0,5
Sulfuro de carbono	mg/m ³ N	1,0	0,8
2-Propanetiol	mg/m ³ N	15,3	16,6
1-Propanetiol	mg/m ³ N	2,2	2,3
2-Butanetiol	mg/m ³ N	24,4	26,1
1-Butanetiol	mg/m ³ N	<0,5	2,1
Disulfuro de dimetilo	mg/m ³ N	<0,5	<0,5
Tetrahidrotiofeno	mg/m ³ N	<0,5	<0,5
Sulfuro de carbonilo	mg/m ³ N	3,8	4,3
Mercaptano de azufre	mg/m ³ N	16,4	19,3
Azufre total (org + cos) calculado	mg/m ³ N	19,9	22,5
Compuestos Orgánicos Volátiles			
COV's (excepto metano)	mg/m ³ N	400	348

un problema que se presenta en los catalizadores instalado en la salida de cada motor con el fin de garantizar que la concentración de monóxido de carbono (CO) se encuentre por debajo de los límites de emisión permitidos.

e) **Analítica del polvo incrustado en el catalizador**, con la finalidad de conocer qué lo produce y qué compuestos aparecen en el mismo y su relación con la composición del biogás.

TÉCNICAS ANALÍTICAS UTILIZADAS

Las analíticas, tanto del biogás como de los gases de escape a la atmósfera, se realizaron por cromatografía gaseosa: la del aceite, por cromatografía líquida; la del polvo del catalizador, por cromatografía iónica para la determinación de sulfatos y calcio; mientras que la determinación de sílice se realizó por espectrofotometría.

La determinación del grado de ensuciamiento del catalizador se realizó por diferencial de presión entre la entrada y la salida del catalizador. De esta forma, el grado de ensuciamiento se puede relacionar con la caída de presión en el mismo. Para ello se colocaron un par de manómetros mecánicos del tipo Burdón en ambos lados del catalizador (entrada/salida), para realizar las mediciones de presión en un intervalo de tiempo de una semana.

Para la comparación de resultados se realizaron dos campañas analíticas: una durante el mes de octubre de 2018 y otra durante el mes de noviembre del mismo año, con vista a comparar los resultados de ambas campañas.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

RESULTADOS DE LAS ANALÍTICAS

Sobre el biogás

La Figura 1 muestra las analíticas realizadas al biogás. De ella, se puede observar que:

Componentes bases

Hay muy poca variabilidad en cuanto a sus componentes básicos (humedad, metano, dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno) cuando las comparamos entre ellas.

» Con vistas a comparar los resultados, se realizaron dos campañas analíticas: una durante octubre y otra durante noviembre de 2018

Componentes perjudiciales

Respecto a sus componentes dañinos, los siloxanos se puede plantear que su concentración es baja y que existe muy poca variabilidad; pero se debe destacar que hay una reducción de este componente de casi el 50 %. Sin embargo, no sucede los mismos en cuanto al sulfuro de hidrógeno (H_2S) que ha aumentado de 1.360 mg/Nm³ a 1.820 mg/Nm³, mientras que los hidrocarburos se nota una ligera reducción de estos. Por otro lado, la concentración de los COVs es relativamente baja.

Sobre los gases de escape del motor

La Figura 2 muestra la analítica realizada al gas de escape procedente del sistema de producción de energía del vertedero durante los meses de octubre y noviembre del 2018. De ella, se puede observar que:

Componentes bajo estudio (CO, SO₂, NOx y Aldehídos).

Monóxido de Carbono (CO). Aunque los valores reportados en ambas campañas están por debajo de los límites establecidos por normas, se observa un incremento en su concentración, lo cual puede ser debido a la pérdida de eficiencia del catalizador por el ensuciamiento de este durante su operación.

Aldehídos. Este componente no está normalizado por el Gobierno, aunque se debe de señalar que en ambas campañas el valor (suma) de este componente está por debajo del valor establecido (≤ 60 mg/Nm³) por el decreto 1042/2017 y la AAI. Sin embargo, su tendencia es a crecer, lo cual se puede deber al ensuciamiento del catalizador y con ello la pérdida de eficacia.

Óxidos de azufre (SO₂ y SO₃). Como se puede observar en la Figura 2 respecto a las emisiones de SO₂, los gases emitido cumplen con la norma establecida (≤ 60 mg/Nm³). Sin embargo, las emisiones de SO₃ son bastante elevadas. En este caso, las emisiones de SO₂ tienden a decrecer, mientras que la de SO₃ tienden a crecer

Óxidos de nitrógeno (NOx). Las emisiones de NOx en forma de NO y NO₂, en ambos casos se cumple por los gases de escape del motor según la normativa del Gobierno. Estos tipos de compuestos tiende a permanecer casi constantes en el tiempo.

Aceite de lubricación

Silicio. Componente que procede de la oxidación de los siloxanos, presente en el biogás. En ambos casos se encuentra cercano al límite de concentración permitido en el aceite de lubricación, aunque, como se puede observar en la Figura 3, en ambos casos está por encima del límite establecido por los proveedores de este tipo de máquina.

A pesar de que la concentración en siloxano en el biogás es relativamente baja, pero superior a los ≤ 3 mg/Nm³, de acuerdo con la Figura 3, que suelen pedir por norma los fabricantes de motores, se puede observar que la concentración de silicio en el aceite está en estado de alerta por concentración máxima del mismo.

Polvo procedente del catalizador

La Figura 4 muestra los resultados de la analítica realizada al polvo procedente del catalizador de oxidación de los gases de escape.

Esta analítica tuvo por finalidad conocer, desde un punto cualitativo, los

FIGURA 2. Resultados de las analíticas realizadas al biogás durante las campañas de octubre y noviembre del 2018

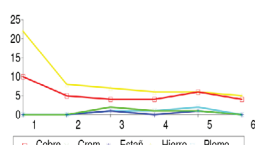
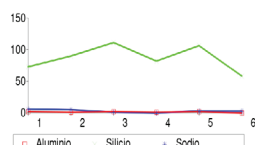
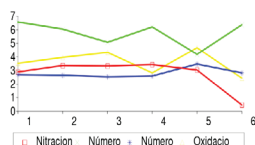
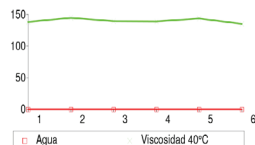
MOTOR DE ESCAPE 2			
Parámetro	Unidad	23/10/2018	20/11/2018
Humedad "in situ"	Vol-%	12,21	13,30
Oxígeno "in situ"	Vol-%	7,27	7,45
Dióxido de carbono "in situ"	Vol-%	17,6	13,7
Monóxido de carbono "in situ"	ppm	253	388
Monóxido de nitrógeno "in situ"	ppm	42	39
Dióxido de nitrógeno "in situ"	ppm	0	0
Óxidos de nitrógeno "in situ"	ppm	42	39
Gases traza inorgánicos			
Monóxido de carbono "en bolsa"	ppm	237	423
Compuestos permanentes			
Hidrogeno	ppm	<3	41
Hidrocarburos halogenados			
Diclorodifluorometano (F12)	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Cloruro de vinilo	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Triclorofluorometano (F11)	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
1,1-Dicloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Diclorometano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
1,1,2-Tricloro-1,2,2-trifluoroetano (F113)	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Trans-1,2-Dicloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
1,1-Dicloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
cis-1,2-Dicloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Triclorometano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
1,2-Dicloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
1,1,1-Tricloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Tetraclorometano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Tricloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
1,1,2-Tricloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
Tetracloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
1,1,1,1,2-Tetracloroetano	mg/m ³ N	<0,1	<0,1
BTEX			
Benceno	mg/m ³ N	0,1	0,2
Tolueno	mg/m ³ N	0,5	0,5
Etilbenceno	mg/m ³ N	<0,1	0,2
m- p- Xileno	mg/m ³ N	0,1	0,3
o- xileno	mg/m ³ N	<0,1	0,1
Hidrocarburos			
>n-pentano <=n-decano	mg/m ³ N	2	11
>n-decano	mg/m ³ N	<1	<1
Aldehídos			
Formaldehído	µg/m ³ N	<2,1	533,3
Acetaldehído	µg/m ³ N	57,5	222,2
Propionaldehído	µg/m ³ N	7,4	20,0
Butiraldehído	µg/m ³ N	<2,1	11,1
Pentanal	µg/m ³ N	<2,1	6,7
Hexanal	µg/m ³ N	3,6	4,4
Heptanal	µg/m ³ N	<2,1	4,4
Octanal	µg/m ³ N	<2,1	<2,2
Nonanal	µg/m ³ N	14,0	<2,2
MOTOR DE ESCAPE 2			
Compuestos Orgánicos Volátiles			
COV's (excepto metano)	mg/m ³ N	2	11
Óxidos de azufre			
Dióxido de azufre	mg/m ³ N	28,9	0,3
Trióxido de azufre	mg/m ³ N	442,9	512,5
Suma de óxidos de azufre	mg/m ³ N	471,9	512,8

FIGURA 3. Analíticas realizadas al aceite de lubricación del motor durante las campanas de octubre y noviembre del 2018

Muestras	Actual	Anteriores		
Etiqueta	6125687	001318-01020	001318-00994	001318-00971
Nombre de la muestra	1821587	1819631	1817549	1816103
Fecha de toma	13/10/2018	10/10/2018	7/ 9/2018	6/ 8/2018
Fecha de recepción	15/11/2018	17/10/2018	18/ 9/2018	23/ 8/2018
Horas/Km equipo	150080	149799	149127	148414
Horas/Km aceite	280	672	713	769
Cambio	No	Si	Si	Si
Relleño		55	65	70
Ref. aceite	53150	53150	53150	53150
Tomada de		ENFRIADO	ENFRIADO	ENFRIADO

Resultados					
- Características Físico-Químicas					
Número de Base - mg KOH/g	Quimiometría	6.4	4.2 *	6.2	5.1*
Contenido en Agua - % (m/m)	Karl Fischer	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Viscosidad 100°C - mm2/s	ASTM D 445	14.51	14.51	14.13	14.19
Viscosidad 40°C - mm2/s	ASTM D 445	135.2	143.535	139.0	139.380
Oxidación (Abs/cm 1720 cm-1)	Infrarrojo	2.4	4.7	2.8	4.3
Nitración (Abs/cm 1630 cm-1)	Infrarrojo	0.5	3.0	3.4	3.3
Scot (Abs/cm 1980 cm-1)	Infrarrojo	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Número de Ácido - mg KOH/g	Quimiometría	2.82	3.47	2.59	2.53
- Aditivación					
Boro - ppm WT	ICP	<1	<1	<1	<1
Bario - ppm WT	ICP	<1	<1	1	1
Calcio - ppm WT	ICP	3160	3142	2696	3173
Magnesio - ppm WT	ICP	9	11	11	11
Molibdeno - ppm WT	ICP	1	1	1	1
Fosforo - ppm WT	ICP	328	293	292	284
Zinc - ppm WT	ICP	379	364	370	343
- Metales de desgaste y contaminación					
Cloro - ppm WT	Rayos X	40.3	69.1	83.4	64.5
Aluminio - ppm WT	ICP	<1	2	1	2
Cobre - ppm WT	ICP	4	6	4	4
Cromo - ppm WT	ICP	<1	1	1	2
Hierro - ppm WT	ICP	5	6	6	7
Plomo - ppm WT	ICP	<1	2	1	1
Silicio - ppm WT	ICP	58	106 **	82 **	111 **
Sodio - ppm WT	ICP	3	3	<1	1
Estaño - ppm WT	ICP	<1	1	<1	1

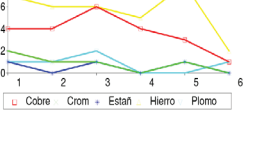
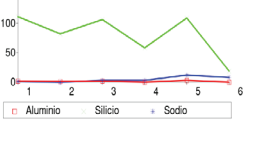
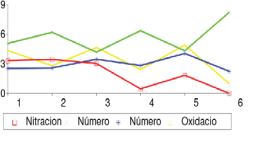
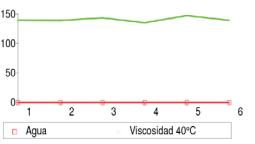
- Nivel **Precaución** (*) Nivel **Alerta** (**)



Muestras	Actual	Anteriores		
Etiqueta	6125686	001318-01069	6125687	001318-01020
Nombre de la muestra	1822614	1823103	1821587	1819631
Fecha de toma	20/11/2018	19/11/2018	13/10/2018	10/10/2018
Fecha de recepción	30/11/2018	10/12/2018	15/11/2018	17/10/2018
Horas/Km equipo	151611	150587	150080	149799
Horas/Km aceite	23	788	280	672
Cambio	No	Si	No	Si
Relleño		34		55
Ref. aceite	53150	53150	53150	53150
Tomada de		ENFRIADO	ENFRIADO	ENFRIADO

Resultados					
- Características Físico-Químicas					
Número de Base - mg KOH/g	Quimiometría	8.2	4.3 *	6.4	4.2*
Contenido en Agua - % (m/m)	Karl Fischer	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Viscosidad 100°C - mm2/s	ASTM D 445	14.19	14.54	14.51	14.51
Viscosidad 40°C - mm2/s	ASTM D 445	139.333	147.188	135.2	143.535
Oxidación (Abs/cm 1720 cm-1)	Infrarrojo	1.0	4.9	2.4	4.7
Nitración (Abs/cm 1630 cm-1)	Infrarrojo	<0.1	1.8	0.5	3.0
Scot (Abs/cm 1980 cm-1)	Infrarrojo	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Número de Ácido - mg KOH/g	Quimiometría	2.25	4.06	2.82	3.47
- Aditivación					
Boro - ppm WT	ICP	2	1	<1	<1
Bario - ppm WT	ICP	<1	<1	<1	<1
Calcio - ppm WT	ICP	3131	3455	3160	3142
Magnesio - ppm WT	ICP	10	10	9	11
Molibdeno - ppm WT	ICP	1	1	1	1
Fosforo - ppm WT	ICP	305	328	328	293
Zinc - ppm WT	ICP	357	381	379	364
- Metales de desgaste y contaminación					
Cloro - ppm WT	Rayos X	19.9	58.5	40.3	69.1
Aluminio - ppm WT	ICP	<1	3	<1	2
Cobre - ppm WT	ICP	1	3	4	6
Cromo - ppm WT	ICP	<1	1	<1	1
Hierro - ppm WT	ICP	2	8	5	6
Plomo - ppm WT	ICP	1	<1	<1	2
Silicio - ppm WT	ICP	19	109 **	58	106 **
Sodio - ppm WT	ICP	8	12	3	3
Estaño - ppm WT	ICP	<1	1	<1	1

- Nivel **Precaución** (*) Nivel **Alerta** (**)



componentes presentes y sus concentraciones en el polvo incrustado en el catalizador. De la misma se puede observar que las concentraciones mayoritarias corresponden a la presencia de:

Sílice. Relacionada con la presencia de siloxanos en el biogás similar a la que aparece en el aceite de lubricación. Cuando los siloxanos combustión, se libera la sílice. Parte de esta sílice se deposita en las partes internas del motor; otras son arrastradas por el aceite de lubricación, y una parte se transporta en los gases de escape.

Sulfatos. Relacionada con la presencia de sulfuro de hidrogeno (H₂S) en el biogás. Se debe de señalar que esta es la mayor concentración, a su vez, en el biogás, así como en los gases de escape, en forma de SOx

DQO. La carga orgánica en el polvo puede deberse tanto a la presencia de hidrocarburo de alto peso molecular como los ≥ n-Decano, como al escape de aceite de lubricación del motor.

La Foto 1 presenta la muestra del polvo objeto del análisis recogida del catalizador de la instalación.

Caída la presión en el catalizador

Para la realización de este ensayo se realizó la instalación que se muestra en Foto 2, que cuenta de un par de tubo tipo serpentín de DN12 en acero inoxidable, separado una distancia aproximada de 750 mm del punto de medición (antes y después del catalizador) para evitar que el efecto de la temperatura tuviera influencia en dicha medición. En ambos puntos se colocaron manómetros y se verifico que la temperatura del gas de escape no fuera superior a los 40 °C. De esta manera se puede tener un diferencial de presión, que se puede asociar al grado de ensuciamiento del catalizador debido a la presencia de contaminantes (polvos) en este gas de escape, causada principalmente por la suciedad del propio combustible (biogás).

Las medidas de la caída de presión en el catalizador se realizaron durante 22 días, y, aunque reportó poca variación,

FIGURA 54. Analíticas realizadas al polvo procedente del catalizador de oxidación de los gases de escape

Parámetros	Unidades	Resultado (mg/l)	Resultado (mg/g)
pH	unidades de pH	8,1	8,1
Conductividad	μS	101	101
DQO	mg/l - mg/g O ₂	18,00	17,31
Carbonatos	mg/l - mg/g CO ₃ ⁼	0,00	0,00
Bicarbonatos	mg/l - mg/g HCO ₃ ⁻	12,00	11,54
Cloruros	mg/l - mg/g Cl ⁻	5,78	5,56
Fluoruros	mg/l - mg/g F ⁻	No detectado	No detectado
Nitratos	mg/l - mg/g NO ₃ ⁻	0,14	0,13
Nitritos	mg/l - mg/g NO ₂ ⁻	No detectado	No detectado
Fosfatos	mg/l - mg/g PO ₄ ³⁻	1,25	1,20
Sulfatos	mg/l - mg/g SO ₄ ²⁻	41,75	40,14
Amonio	mg/l - mg/g NH ₄ ⁺	No detectado	No detectado
Calcio	mg/l - mg/g Ca ²⁺	21,15	20,34
Magnesio	mg/l - mg/g Mg ²⁺	<0,1	<0,1
Potasio	mg/l - mg/g K ⁺	2,69	2,59
Sodio	mg/l - mg/g Na ⁺	0,24	0,24
Sílice	mg/l - mg/g SiO ₂	31,70	30,48

sirvió como indicador del grado de suciedad alcanzado en el catalizador.

Así pues, la Foto 2 muestra los dispositivos construido para la medición de la presión en cada toma del catalizador como medio para conocer la caída de presión en este dispositivo y conocer el grado de ensuciamiento de este.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Del estudio del comportamiento de la composición base se puede observar que la tendencia de la concentración de CH₄ es a disminuir, mientras que la del CO₂ es a permanecer casi estable, lo que permite establecer que este vertedero se encuentra en una etapa de maduración avanzada, lo cual corroboran las tendencias que siguen sus respectivos comportamientos.

Sobre sus contaminantes cabe señalar que la tendencia del sulfuro de hidrógeno (H₂S) es a crecer, lo cual evidencia la presencia de una alta carga

FOTO 1. Muestra del polvo del catalizador

FOTO 2. Dispositivos usados para medir la diferencia de presión



orgánica en los residuos que se vierten a este vertedero. El resto de los contaminantes (siloxanos e hidrocarburos), tanto de cadena larga como corta, su presencia es poco significativa, por lo que los daños que puedan causar, tanto en operación del motor (mecánicos) como en las emisiones no serán muy significativa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados, se puede plantear que, aunque el gas extraído del vertedero es apto para su uso en el sistema de generación, el mismo requiere de una limpieza de sus contaminantes; entre ellos, el sulfuro de hidrógeno (H_2S), para evitar altas concentraciones de gases tipos SO_x en los gases de escape, y, en menor medida, los siloxanos.

Esta limpieza del biogás evitará los problemas que a continuación se mencionan:

- Altas concentraciones de gases ácidos en los gases de escape del tipo SO_x que favorecen la oxidación del sistema de escape y del silencioso.
- Alta concentración de silicio en el aceite de lubricación del motor que está limitando su uso.

- Elevada cantidad de vapor de agua en los gases de escape, lo que favorece las pérdidas de rendimiento del motor y la formación de ácidos corrosivos.

- Presencia de polvo en el catalizador, con la paulatina pérdida de eficacia de oxidación del CO y otros componentes que pueden ser oxidados.
- Degradación del aceite de lubricación por la presencia de compuestos de azufre y la presencia de sílice.

¿Qué beneficios aportaría la limpieza del biogás?:

- Un óptimo funcionamiento de las máquinas (motores, turbinas, calderas, pilas de combustible, vehículos, etc.) relacionadas con su aprovechamiento como combustible.
- Reducción del coste de mantenimiento (reparación y cambio de aceites) de las máquinas involucradas en este tipo de instalación.
- Una vida útil prolongada de las máquinas y equipos utilizados para su bombeo, extracción y compresión (soplantes y compresores).
- Una mejora en las emisiones de los gases de escape de las máquinas motoras, lo que conlleva el cumplimiento

de las normas de vertido a la atmósfera y menores costes operativos por sustitución o reparación de partes del sistema de escape (catalizador y silencioso).

- Mejora del rendimiento energético del motor.

Bibliografía

- [1] M. Constant, H. Naveau, G.-L. Ferrero and E.-J. Nyns. Biogas end-use in the European community. Commission of the European communities. Elsevier applied science.
- [2] Estibaliz, A, José. I. Ciria. (2004). Siloxanos en motores de gas. Boletín mensual sobre lubricación y mantenimiento.
- [3] Reina, J. et al (nov. 2002). Plant for biogas treatment for its use as biofuel. Proceedings 9º Congreso Mediterráneo de Ingeniería Química. Barcelona.
- [4] Reina, J. (2005). From the biogas to vehicle fuel. Study of CO₂ absorption in a packed column. 10º Congreso Mediterráneo de Ingeniería Química. Barcelona- Spain.
- [5] Reina, J. (Julio/agosto 2008). Biolimp-Siloxa. Planta multipropósito para la limpieza del biogás. InfoEnviro.
- [6] Reina, J. (January-2013). Technological models in the biogas cleaning plant in the WWTP. Machinery, equipment, and accessories in the biogas plant facility. Water Today.
- [7] Reina, J. (September 2015). Biogas Cleaning and Conditioning: A Requirement for Optimal Operation of CHP Systems. Waste Advantage magazine.
- [8] Varnero. M1, Carú2. M, Galleguillos1. K y Achondo1. P. (2012). Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica. Inf. tecnol. vol.23 no.2.
- [9] Reina, J. y Portero, D. (Julio-agosto 2018). Estudio de la influencia de la limpieza del biogás en las prestaciones del sistema de cogeneración. Tecnología BTS-Biolimp-MPdry. Industria química.

