

ALTERNATIVA DE DESULFURACIÓN EN DIGESTIÓN ANAEROBIA DE EDAR URBANA MEDIANTE USO DE SALES MINERALES DE HIERRO (MEZCLA DE ÓXIDOS/HIDRÓXIDOS DE HIERRO DE ORIGEN NATURAL).

Autor:

Jesús Manuel Tagua González (Ingeniero Químico, Director de Material and Energy Recovery S.L. - MATERGY).

Contacto:

www.matergy.es

jmtagua@matergy.es

955494244

ACOSOL S.A.:

Sergio Martín Guzmán (Jefe de Servicio del Departamento de Saneamiento Integral).

Belen Miranda Burgos (Jefa de planta de EDAR´s).

Resumen:

La empresa pública Acosol S.A. (Costa del Sol, Málaga), gestiona los servicios del Ciclo Integral del Agua y, en lo referente al saneamiento, recoge el agua residual de las redes municipales, conduciendo estas aguas hasta las distintas Estaciones Depuradoras de Agua Residual de la Costa. De las 7 EDAR´s que operan, 4 de ellas disponen sistemas de tratamiento por lodos activados y estabilización mediante digestión anaerobia y 1 mediante biofiltración y digestión anaerobia de los lodos, lo que hace un total de 5 de 7 con instalaciones de digestión anaerobia de lodos.

La digestión anaerobia opera en rango mesófilo (35-38°C), haciendo uso del propio biogás como combustible en calderas de agua caliente para elevar la Tª de los reactores. El uso de biogás en calderas hace que se contemple la inspección de las emisiones de dichas calderas en chimenea para monitorizar ciertos parámetros como (CO, NO_x, SO₂, SH₂, opacidad, etc). Debido a las elevadas concentraciones de azufre en la entrada (tanto en forma orgánica como forma inorgánica-sulfatos) se cuenta con un biogás de alta carga en SH₂ y esto genera el incumplimiento de las emisiones en chimenea provocada por el SO₂ de salida, limitado por decreto en 200 mg/Nm³ y siendo los valores actuales por encima de dicho límite admisible si no se realiza ningún tipo de desulfuración.

Se plantea una prueba en la EDAR de Fuengirola mediante el uso de óxidos e hidróxidos de hierro para desulfurar el biogás hasta niveles que permitan el cumplimiento de las emisiones. No obstante, durante las pruebas, además se comprueban una serie de ventajas adicionales frente al uso de sales de hierro convencionales como el cloruro férrico, que hacen del uso de este nuevo reactivo una buena alternativa para su uso en digestores de EDAR´s urbanas.

Palabras clave:

Digestión anaerobia, biogás, gas sulfhídrico, dióxido de azufre, sales de hierro.

1.- Introducción

La empresa pública Acosol S.A., dependiente de la Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Occidental, gestiona los servicios del Ciclo Integral del Agua y, en lo referente al saneamiento, recoge el agua residual de los colectores de alcantarillado de las redes municipales en la franja comprendida desde el límite del TM de Torremolinos con Benalmádena, hasta el límite de provincia en Manilva, conduciendo estas aguas a través de los colectores de Saneamiento Integral hasta las distintas Estaciones Depuradoras de Agua Residual de la Costa, donde se depura y se regenera para su nuevo uso en riego de Campos de Golf y zonas verdes públicas, siendo el excedente depurado devuelto al mar a través de los emisarios submarinos en condiciones de calidad, caudal, distancia a la costa y profundidad que permiten su total dilución en el medio.

Actualmente operan 7 EDAR's de las cuales 5 disponen de estabilización de lodos vía digestión anaerobia. Estas EDAR's son por orden creciente de población:

Instalación	Zona	Población (hab)	Capacidad (m3/día)
EDAR Manilva	Manilva	60.000	15.000
EDAR Arroyo de la Miel (*)	Benalmádena	160.000	40.000
EDAR Cerro del Águila	Fuengirola	240.000	60.000
EDAR Víbora	Marbella	300.000	81.000
EDAR Guadalmanza	Estepona	400.000	100.000

(*) Todas con tecnología de lodos activados excepto Arroyo de la Miel con biofiltración.

A continuación se muestra el mapa del saneamiento integral de la Costa del Sol Occidental.



2.- Problemática

Todas las EDAR's con estabilización de lodos vía digestión trabajan en régimen mesófilo, esto es con una T^a entre 35-38°C estable en los reactores anaerobios para favorecer la actividad de las bacterias.

Para calefactar los digestores se hace uso del propio biogás generado como combustible, de forma que se evita el uso de combustibles externos como gas natural o diésel. La concentración en metano de este biogás es de entre 60-65% por lo que es apto para su combustión en caldera de agua caliente con el uso de quemadores especialmente diseñados para este tipo de combustibles. Aproximadamente el poder calorífico inferior del biogás ronda los 6-6,50 kWh/Nm³ (GN 10,83 kWh/Nm³ y Gasóleo 10,28 kWh/L aproximadamente).

El autoconsumo del biogás repercute en un ahorro de los costes operativos, pero para ello debe ser tratado convenientemente. Finalmente el excedente de biogás no usado es quemado en el sistema de combustión de seguridad o antorcha.

Una composición típica del biogás de EDAR podría ser la siguiente:

- Metano (CH₄): 55-70%.
- Dióxido de carbono (CO₂): 30-45%.
- Hidrógeno (H): 1-3%.
- Nitrógeno (N): 0,5-3%.
- Ácido sulfhídrico (H₂S): 0,1-0,5% (aprox 1% = 10.000 ppmv).
- Trazas de vapor de agua.

La composición particular de cada biogás dependerá del sustrato a partir del cual se obtiene el biogás (tipo aguas residuales, otros productos en codigestión), así como de los parámetros del proceso de digestión (tiempo de residencia , T^a, pH,etc.).

En ocasiones, el biogás contiene elevadas concentraciones de contaminantes que impiden su aprovechamiento si no son eliminados previamente. Estos contaminantes, principalmente, son:

- Ácido sulfhídrico (SH₂).
- Siloxanos.
- Amoníaco.
- Compuestos halogenados.
- Dióxido de Carbono (CO₂).
- Agua. Debe ser eliminada para evitar condensaciones.

En el caso de las aguas residuales urbanas EDARU's, donde usualmente se realiza autoconsumo del biogás, el contaminante común es el ácido sulfhídrico (SH_2), donde podemos llegar a encontrar concentraciones de hasta 5.000 ppm o superiores en casos especiales.

A continuación se muestra una fotografía de una medición realizada en la EDAR de Víbora en Marbella, donde puede comprobarse una concentración de 0.31 % ó 3.100 ppmv.



Medida de concentración de gases en biogás EDAR Víbora (Marbella).

El sulfuro de hidrógeno (SH_2), denominado ácido sulfhídrico en disolución acuosa ($\text{SH}_{2\text{aq}}$), se forma por reducción biológica de los sulfatos (SO_4) en condiciones anaerobias. Es un gas, más pesado que el aire, inflamable, incoloro, tóxico, corrosivo y odorífero: su olor es el de materia orgánica en descomposición (similar al olor de los huevos podridos). Además, su combustión genera SO_2 , el cual es uno de los causantes principales del fenómeno de la lluvia ácida.

A continuación se muestra una tabla resumen con datos de producción de biogás y concentración de SH_2 sin tratamiento. Además se indica el número y capacidad de los digestores y volumen de fangos espesados alimentados diariamente a los reactores con la media de % materia seca (%MS).

Instalación	Digestores Volumen (m3)	Fangos (m3/día)	MS (%)	Biogás (Nm ³ /día)	SH ₂ (ppm)
EDAR Manilva	1x1.500	312,50	1,60	1.800	3.800
EDAR Arroyo de la Miel	2x2.990	118,75	4,00	1.710	3.800
EDAR Cerro del Águila	2x2.400+1x4.800	400,00	3,00	4.320	4.400
EDAR Víbora	3x4.500	400,00	2,40	3.456	3.100
EDAR Guadalmanza	2x9.000	458,33	2,60	4.290	2.900

En función del tipo de aprovechamiento del biogás que se desee realizar, se deberá eliminar algunos o todos los contaminantes. En el caso de las EDAR de ACOSOL se hace uso de calderas de agua caliente.

Para emplearse en calderas, el biogás debe presentar un contenido mínimo de metano de 50%. En general, las calderas son apropiadas para el uso de biogás como combustible, pero deben cumplirse algunas condiciones operacionales; por ejemplo, la temperatura mínima de la caldera y de operación deben estar por encima del punto de rocío.

Se recomienda que el contenido de compuestos de azufre en el biogás sea inferior a 1.000 ppmv a la entrada de una caldera; en caso contrario, el biogás debe realizarse un tratamiento previo para reducirlo por debajo de esta concentración recomendada.

Se decide realizar una prueba en la EDAR FUENGIROLA situada en el Camino Cerro del Águila, s/n en el término municipal de Fuengirola (Málaga) por ser la instalación con mayor carga de ácido sulfhídrico entre otros motivos.

2.1.- Limitación de SO₂ en emisiones de calderas

Además de la limitación de la concentración de SH₂ en biogás para su uso en calderas, existe una **limitación normativa para las emisiones de SO₂ establecida en 200 mg/Nm³ (*)** según los valores límite de emisión del Decreto 239/2011, de 12 de julio, por el que se regula la calidad del medio ambiente atmosférico y se crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía.

(*) Valor referido a un 15 por ciento de oxígeno y en condiciones exentas de humedad.

En las EDAR's de ACOSOL, debido a la alta concentración de SH₂ en el biogás, estos límites son superados si no se realiza ningún tipo de desulfuración. Es por ello que se realizan tratamientos de reducción de ácido sulfhídrico con el fin de dar cumplimiento.

3.- Objetivos

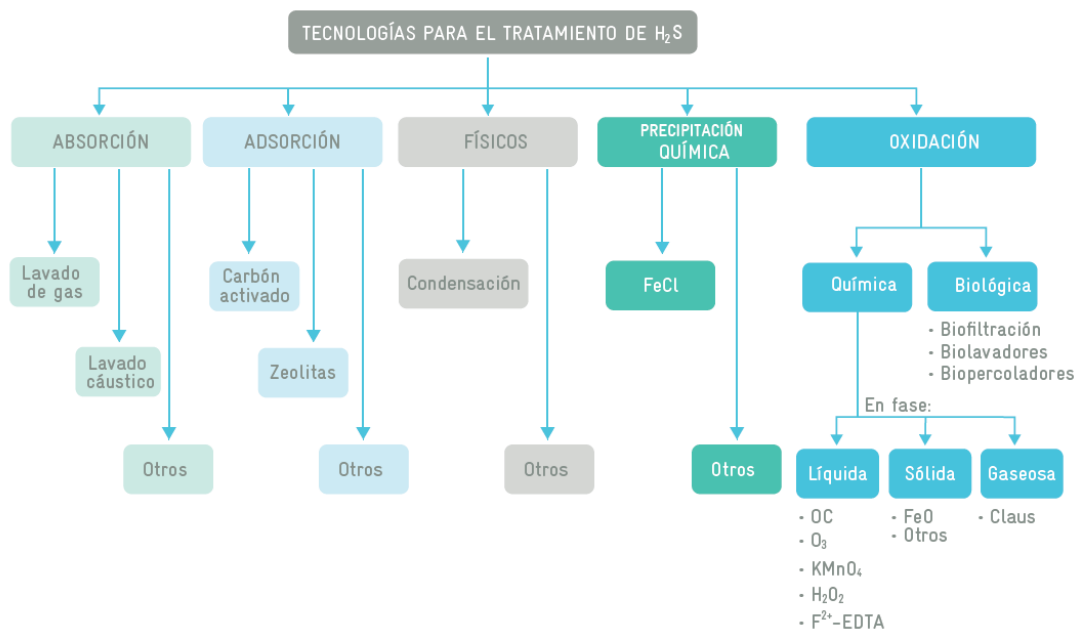
La finalidad de las pruebas realizadas en la EDAR Cerro del Águila de Fuengirola es la aplicación de un novedoso reactivo de desulfuración basado en minerales naturales de óxidos e hidróxidos de hierro. Además se llevará a cabo su monitorización para estudiar los efectos en la concentración de SH_2 en biogás y SO_2 en emisiones de calderas, así como comparación frente a reactivos convencionales de cloruro férrico.

Como objetivo secundario se valorarán otros posibles aportes beneficiosos en la instalación de depuración como el efecto en la deshidratabilidad del lodo, desodorización y línea de aguas. Si bien no eran objetivos contemplados originalmente, se han valorado cualitativamente (aun por ser contrastados) al observarse distintas mejoras sobre la operación de la EDAR.

4.- Sistemas de desulfuración

Los procesos de reducción de ácido sulfhídrico pueden ser biológicos, químicos o físicos.

La elección del tratamiento, o la combinación de ellos se realiza en función del uso al que va a ser destinado el biogás. Cuando la separación de SH_2 no es muy restrictiva (300-500 ppmv), la desulfuración puede ser aplicada dentro del propio digestor. Cuando la reducción requerida es restrictiva (<100-200 ppmv), se necesita un proceso externo más completo o bien una combinación de ellos.



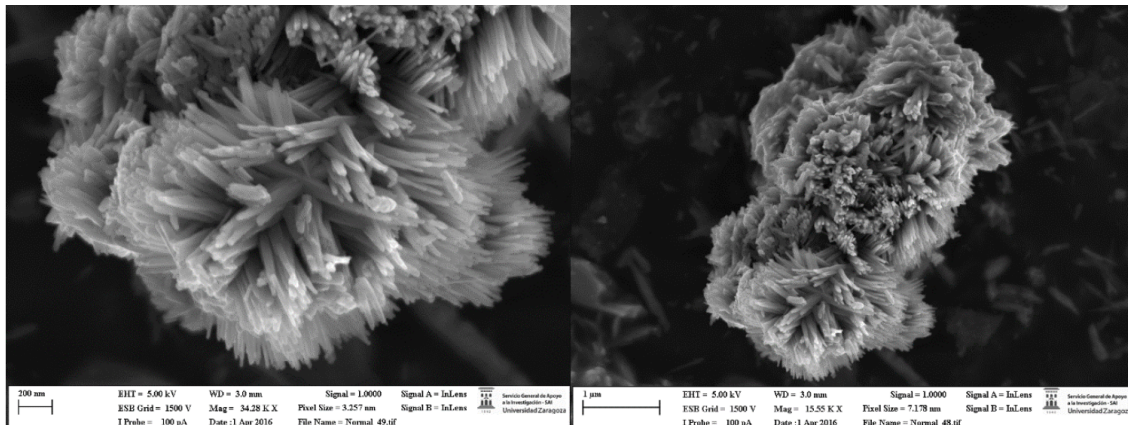
Fuente: Morgan Sagastume (2001). Extracto de la publicación: Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales.

En nuestro caso, y dada la reducción grosera de la concentración de SH_2 , el tipo de tratamiento está catalogado como **desulfuración fisicoquímica por dosificación de sales de hierro**, siendo formato líquido para el cloruro férrico convencional y formato sólido para el nuevo reactivo usado en las pruebas basados en una mezcla de óxidos e hidróxidos de hierro.

5.- Características del reactivo sólido mineral

Es un producto de origen natural, proveniente de nuestros yacimientos minerales de hidróxidos de hierro (FeOOH). Se suministra en polvo y se obtiene tras una adecuada mezcla y micronización de las mencionadas materias primas.

A continuación se muestran imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) con la cristalización característica (acicular) del mineral de goethita (FeOOH, o hidróxido de hierro).



Debido a su sistema de cristalización, estos minerales se caracterizan por poseer una alta superficie específica, no obstante, adicionalmente, se micronizan convenientemente para aumentar, aun mas, la superficie específica y optimizar su reactividad química.

El contenido medio en hidróxido de hierro (FeOOH) es de 72% (+-5%). El resto de sustancias que componen el producto se pueden ver en la tabla adjunta:

DATOS TÉCNICOS INFORMATIVOS (valores orientativos)

Análisis Químico Típico (ICP-OES)

Óxidos	% en peso
FeOOH+Fe ₂ O ₃	70-73
Fe (total)	44.0-45.8
SiO ₂	13-15
Al ₂ O ₃	4-6
MnO ₂	2-3
MgO	1.5
K ₂ O	0.5-1.5
CaO	0.3-0.1
Na ₂ O	<0.05
Cr ₂ O ₃	<0.005

Análisis Mineralógico (DRX)

Óxidos	Fórmula	% en peso
Goetita	FeOOH	63-65
Hematites	α -Fe ₂ O ₃	7-10
Minerales micáceos	(K,Na)(Al,Mg,Fe) ₂ [(Si,Al) ₄ O ₁₀](OH) ₂	7-8
Cuarzo	α -SiO ₂	8-9
Fase amorfa		13-15

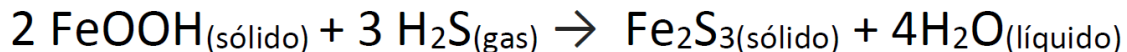
Distribución granulométrica (Difracción Laser)

Tamaño medio de partícula (μ m): 2.00 (\pm 0.20)
 Tamaño máximo de partícula (μ m): 10.00 (\pm 0.10)

BET:
 44.8 m²/g

Micronox® ON16 ha sido objeto de amplios estudios preliminares, con exitosa aplicación en plantas de biometanización anaeróbica con el objetivo de reducir los niveles de ácido sulfhídrico en el biogás producido.

El hidróxido de hierro reacciona con el ácido sulfhídrico generando sulfuro férrico y agua. La reacción química es la siguiente:



Por tanto, como resultado de la reacción teórica completa del hidróxido férrico y el sulfhídrico se produce sulfuro férrico y agua (fase líquida), ambas en porcentajes muy pequeños en relación al volumen de residuos contenidos en el reactor, y siempre contenidos en el digestato y no en el biogás. Para ser más precisos: por cada 1.000 kg de Micronox® ON16 (67% en hidróxido férrico) se producen 272 kg de agua al digestato y se eliminan 386 kg de sulfhídrico del biogás.

Asimismo, la reacción del Micronox® ON16 no genera CO₂ ni O₂. Únicamente reduce los niveles de sulfhídrico en el biogás, que es para lo que ha sido desarrollado. Estos datos están confirmados tanto a nivel teórico como experimental en datos obtenidos en plantas que actualmente lo están dosificando.

Con Micronox® ON16, los operadores de las instalaciones de biometanización cuentan con un producto que permite reducir de forma eficiente y rentable el sulfuro de hidrógeno presente en el biogás.

5.1.- Sectores de aplicación

Micronox® ON16 es aplicable de manera especialmente ventajosa, por su óptima relación coste/efectividad, en la reducción de ácido sulfhídrico en el biogás producido en plantas de biometanización anaeróbica a partir de:

- Lodos de plantas depuradoras de aguas residuales (EDAR)
- Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU).
- Desechos agropecuarios (purines, estiércoles)
- Desechos agrarios y forestales (colza, maíz, girasol, remolacha, etc.)
- Residuos industria alimentaria (mataderos, conserveras, etc.)

Asimismo, el Micronox® ON16 es aplicable a diferentes tecnologías de biometanización: tecnología seca (porcentaje materia seca en el digestor superior al 15%) y tecnología húmeda (porcentaje materia seca en el digestor inferior al 15%).

La reducción del sulfuro de hidrógeno se produce en condiciones de digestión tanto mesófila como termófila.

Micronox® ON16 se ha de añadir junto al sustrato orgánico en la alimentación al digestor

anaeróbico.

En función de las características de cada planta, se pueden seleccionar los puntos más convenientes para la dosificación: en el mezclador previo a la alimentación del digestor, en el retorno de aguas negras (flora bacteriana) a realimentación del digestor, o mediante mezclado previo en los stocks de residuos orgánicos.

6.- EDAR Cerro del Águila de Fuengirola

La EDAR de Fuengirola es la instalación seleccionada para las pruebas con el nuevo reactivo mineral ya que es la que presenta mayores cargas de ácido sulfhídrico entre otros motivos.

La EDAR tiene capacidad para tratar 60.000 m³/día de aguas residual, equivalente a una población de 240.000 habitantes.

El sistema de tratamiento de la EDAR es tipo fangos activados con estabilización de lodos vía digestión anaerobia y deshidratación vía centrífuga. A continuación se resume la línea de tratamiento:

- Obra de llegada.
- Pretratamiento mediante rejillas de finos y gruesos.
- Desarenado y desengrasado.
- Decantación primaria.
- Reactores anaerobios de fangos activados con aireación por rotores con selector anóxico.
- Decantación secundaria.
- Línea de fangos formada por:
 - Tamiz de fangos.
 - Espesamiento por gravedad para fangos primarios.
 - Espesamiento mecánico con dosificación de polielectrolito para fangos secundarios.
 - Tanque de fangos mixtos para alimentación a digestores.
 - Digestores anaerobios.
 - Depósito tampón de fangos digeridos.
 - Deshidratación con centrífugas y adición de polielectrolito.

TAMICES DE FANGOS: la purga de fangos procedente de los decantadores primarios y el exceso del biológico se pasa a través de un tamiz autolimpiable de 3 mm de paso, siendo los sólidos retenidos prensados y enviados a un contenedor para su gestión como residuo.

ESPEZAMIENTO: Dispone de dos espesadores de gravedad para fangos primarios de 10 m de diámetro y parte del fango biológico en exceso es bombeado a unos espesadores rotativos que transportan el lodo, floculado con polielectrolito, mediante un rotor con geometría de tornillo de Arquímedes. La separación del líquido se efectúa a través de un tamiz que se limpia mediante una rampa de cepillos con lavado intermitente. Los lodos espesados caen en una tolva para ser bombeados a los silos de fangos mixtos y almacenamiento y posteriormente enviado a los digestores. La concentración media aproximada de los lodos espesados es del 3% (30 kg/m³).

DIGESTIÓN: Los lodos procedentes del espesamiento de fangos son enviados a los digestores anaerobios, que son dos depósitos cerrados de hormigón, 2 de ellos con una capacidad de 2.400 m³ cada uno y el tercero y nuevo de 4.800 m³, son de fondo y cubierta cónica y tienen un tiempo de retención de aproximadamente 30 días. El bombeo a digestión se realiza mediante unos grupos motobombas de 40 m³/hora. El mezclado de lodos se efectúa con grupos motobombas de 180 m³/hora (mezclado de lodos en digestores 1 y 2 es hidráulico, en el 3 es con un SCABA).

Para mantener la temperatura de 35-38°C en el lodo del digestor, se han instalado dos calderas de agua, calentadas por el biogás producido en la digestión.

El almacenamiento del gas producido se realiza en un gasómetro de baja presión de 1.800 m³ de capacidad.

DESHIDRATACIÓN: El secado se realiza mediante 3 centrífugas, siendo transportados por bomba al silo de almacenamiento de 50 m³. Para facilitar la deshidratación de los lodos, se procede a la mezcla de éstos con un polielectrolito catiónico.

El punto de dosificación del reactivo sólido mineral ha sido el tanque de fangos mixtos, donde se mezclan los fangos primarios y secundarios y son agitados previo bombeo a los diferentes digestores. Actualmente el sistema funciona en paralelo con un caudal proporcional a cada uno de los digestores 100 m³/día a cada uno de los digestores pequeños de 2.400 m³ y 200 m³/día al digestor mayor de 4.800 m³.

El formato del reactivo es saco tipo papel de 20 kg de peso. Para la operación en continuo se puede realizar mediante dosificador automático o bien mediante uso de saco hidrosoluble que puede ser introducido directamente en el tanque de fangos.

7.- Planificación de los trabajos

Las pruebas de dosificación se planifican en 2 meses (8 semanas) de tratamiento. Se decide realizar la prueba en los meses de octubre y noviembre de 2019, dejando diciembre para la recolección de datos, análisis y conclusiones.

A continuación se resume el plan de trabajos en la EDAR:

1. Auditoría previa del proceso de tratamiento de la depuradora: Línea de aguas y línea de fangos.
2. Recolección de datos de operación de la línea de fangos del año completo en curso desde enero 2019 hasta septiembre 2019.
3. Cálculos de dosificación de reactivo y simulación de resultados.
4. Inicio de las pruebas con dosificación a doble cantidad durante la primera semana para acelerar el proceso.
5. Dosificación diaria a 3 turnos.
6. Toma de datos de operación diaria (cantidad de lodos alimentados, concentración de lodos, caudal de biogás, etc).
7. Visita semanal para medición de concentraciones en biogás (CH₄, CO₂, O₂, SH₂) así como revisión de la evolución del proceso. Con emisión de informe de resultados y acciones a realizar.

8. Visitas puntuales para medición de gases en calderas (T^a , O_2 , SO_2 , NO , NO_x , y otros parámetros). Se establece una medición al inicio y otra al final de contraste. Con emisión de informe de resultados y acciones a realizar.
9. Recolección de datos finales, análisis y conclusiones, con emisión de informe final.

Aunque el objeto de las pruebas originalmente sólo se centraba en la reducción de SH_2 en biogás y SO_2 en humos de caldera, se decide ampliar el abanico de datos a recopilar y analizar para ver los efectos en la digestión y el resto de la línea de fangos y aguas.

8.- Cálculo de la dosificación requerida

INFORMACIÓN DE LA PLANTA DE GENERACION DE BIOGAS				
UBICACIÓN DE LA PLANTA	ACOSOL - EDAR FUENGIROLA			
TIPO DE DIGESTOR	SMC	Nº DE DIGESTORES	3	
TIPO DE SUSTRATOS	LODOS EDAR URBANA			
MASA DE SUSTRATO TRATADO (tn/día)	400,00	DENSIDAD DEL SUSTRATO (tn/m ³)	1,1	
TIEMPO RESIDENCIA SUSTRATO (días)	35	SÓLIDOS TOTALES/VOLÁTILES (%)	3%/80%	
VOLUMEN DE BIOGAS (m ³ /día)	4.320,00	pH	7,2	T^a
H_2S INICIAL (ppm)	4.400,00	H_2S OBJETIVO (ppm)	500,00	
OTRAS OBSERVACIONES	Se cuenta con estudio detallado			
CALCULOS DE CONSUMO MX-ON16/DIA				
PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO				
H_2S_{aq}	1,00	Sulfuro de hidrogeno total disuelto		
f_{H_2S}	0,50	Porción de Azufre disuelto presente en fase acuosa		
H_2S_s (Inicial)	4.400,00	Cantidad de sulfuro de hidrogeno inicial del biogas (ppmv)		
H_2S_g (Objetivo)	500,00	Cantidad de sulfuro de hidrogeno objetivodel biogas (ppmv)		
AH_2S_g	3.900,00	Cantidad de sulfuro de hidrogeno a reducir del biogas (ppmv)		
$P_{substrate}$	1,10	Densidad del sustrato (t/m ³)		
$M_{substrate}$	400,00	Peso del sustrato (t/d)		
$V_{substrate}$	363,64	flujo del sustrato (m ³ /d)		
V_{biogas}	4.320,00	Caudal de biogas (m ³ /d)		
P_{H_2S}	1,36	Densidad de H_2S (g/l)		
M_{Fe}	55,84	Masa atomica Fe		
M_S	32,00	Masa atomica S		
B	2,20	Factor sobredosis (1,7-5)		
CALCULOS DOSIFICACIÓN		DOSIFICACIÓN (SACOS/DÍA)		FEEDBACK
Fe(gr/d)	90.756,08	SEMANA 1	17	
Ley de Fe MX-ON16	52	SEMANA 2	9	
Gramos MX-ON16 equiva.	174.530,93	SEMANA 3	9	
Kg/d MX-ON16	174,53	SEMANA 4	9	
Sacos/día	8,73	SEMANA 5	9	

Resumen 180 kg/día = 9sacos x20 kg/saco.

NOTA: aunque el objetivo es llegar a 1000 ppm de SH_2 en biogás, de cara a cálculo se establece un límite menor por seguridad.

9.- Resultados

Se indican los datos medios obtenidos durante las pruebas.

		Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Caudal fangos	m3/mes	11.701,00	10.661,00	8.349,00	7.606,00
%ST entrada	%	2,78	3,01	3,67	3,43
%SV entrada	%	81,73	81,84	80,23	81,23
%ST salida	%	1,26	1,32	1,18	1,23
%SV salida	%	70,71	68,56	68,97	66,87
TRH	días	24,61	27,91	34,50	39,13
kg SV entrada	kg/mes	265.550,09	262.477,35	245.854,99	211.946,45
kg SV eliminado	kg/mes	161.443,84	165.931,19	177.662,04	149.208,92
Caudal biogás	Nm3/mes	105.214,00	114.918,00	116.485,00	136.867,00
% CH ₄ (metano)	%	61,50 (*)	61,50(*) / 62,30	63,70	64,30
ppm SH ₂	ppmv	4.400 (*)	4.384 (*) / 1.505	858	593

RATIOS					
Producción biogás específica	Nm3/kg SV	0,652	0,693	0,656	0,917
Reducción volátiles	%	60,80%	63,22%	72,26%	70,40%

NOTA: las pruebas se inician el 21 de octubre, si bien se realizan mediciones de contraste antes de dosificar el reactivo. (*) Antes de la dosificación de ON16.

10.- Conclusiones

A continuación se enumeran las conclusiones principales de la prueba así como los siguientes pasos a realizar para contrastar algunos resultados obtenidos no confirmados.

- El nuevo reactivo mineral basado en óxidos e hidróxidos de hierro demuestra tener unos resultados satisfactorios para la desulfuración en digestión anaerobia mesófila de fangos de EDAR urbana, llegando a obtener resultados por debajo de los 1.000 ppm de SH₂ en biogás y muy por debajo de 200 mg/Nm³ de SO₂ en humos de caldera, cumpliendo por tanto el objetivo de las pruebas (*1).
- La dosificación usada durante las pruebas fue de 9 sacos diarios (3 sacos por turno) de 20 kg lo que supone una alimentación diaria al digestor de 180 kg de reactivo. Con esta dosificación se logró alcanzar una concentración de SH₂ por debajo de los 600 ppmv y el SO₂ en humos de caldera por debajo de los 30 mg/Nm³ o incluso indetectable. Esto supone una dosificación aproximada de 0,45-0,50 kg reactivo/Tn de lodo alimentado para las condiciones de la EDAR de Fuengirola (3% MS y 80% MV aproximadamente).
- Se confirma durante las pruebas que el reactivo no tiene afecciones negativas sobre la digestión, no se detectan inhibiciones de ningún tipo. Sí que se comprueba una coloración pardo oscuro en los fangos.
- El uso del reactivo reporta ciertas mejoras tanto a la línea de fangos como a la línea de aguas, siendo las más importantes las siguientes:
 - Mejora de la calidad del biogás por aumento de la concentración de metano.
 - Mejora del % de reducción de materia volátil.
 - Mejora del espesamiento de los fangos y aumento del % MS en la entrada, reduciendo así la cantidad de fangos alimentados y por tanto reduciendo cantidad a deshidratación (*2).
 - Mejora de la deshidratabilidad de los fangos (*2).
 - Reducción de la dosificación de polielectrolito en deshidratación (*2).
 - Reducción de la cantidad de fangos generados debido al aumento del %MS en entrada y mejor deshidratación, reduciendo así el coste de gestión de los mismos (*2).
 - Reducción de los olores en la línea de fangos (*3).

(*1) Experiencias previas en otras instalaciones demuestran que es posible bajar hasta 150-300 ppm ajustando la dosificación y mejorando la mezcla en el digestor.

(*2) Estas mejoras han sido comprobadas de forma cualitativa, ya que no estaba programado su seguimiento. Si bien se puede afirmar que estas mejoras surgieron tras la dosificación del reactivo, para ser rigurosos no podemos atribuir las sólo a este evento, por lo que se recomienda hacer seguimiento cuantitativo en próximas pruebas para poder contrastar.

(*3) Esta mejora ha sido valorada de forma cualitativa y no de forma cuantitativa mediante medición oficial. Se recomienda incorporar a los estudios en próximas pruebas para cuantificar su efecto. Si que encontramos una justificación de su efecto, ya que el sólido que queda en el lodo sin reaccionar sigue adsorbiendo partículas de SH₂ mientras esté en contacto con el aire.