Fugas de gas de lodo

Un nuevo enfoque a la prevención de explosiones

Por Peter Erndwein

En abril de 2009, se produjo una explosión de gas en una planta de tratamiento de aguas residuales (WWTP, por sus siglas en inglés) municipal en la zona sureste de Pennsylvania. La explosión se produjo en uno de dos digestores activos de lodo anaeróbico en una planta WWTP nacional que procesa 4 millones de galones por día. El edificio del proceso estaba equipado con ventilación general de dilución y un sistema fijo de supervisión de gas explosivo. Los sistemas eléctricos del inmueble eran de una fabricación normal (es decir, no a prueba de explosiones).

La onda expansiva y el incendio provocaron lesiones que afectaron la vida de un empleado y amplios daños materiales al edificio del proceso. Una investigación externa realizada por aseguradoras y fondos de compensaciones de los trabajadores municipales pesquisó la causa de la explosión hasta dar con una fuga en las tuberías del sistema de transporte del gas de lodo. No fue posible determinar con precisión la fuente de encendido de la explosión porque el edificio contenía diversas fuentes posibles, que iban desde motores eléctricos hasta interruptores de luz.

EN BREVE

- **El metano es un subproducto potencialmente explosivo de la digestión anaeróbica de sólidos en aguas residuales.**
- **Tras una explosión de metano en una planta de tratamiento de aguas residuales (WWTP), un fondo de riesgos municipales instauró un novedoso enfoque para prevenir que esto volviera a ocurrir. Las tuberías del sistema de recolección y los equipos asociados en diversas WWTP se supervisaron en busca de fugas de metano utilizando un detector de ionización de llamas (FID) portátil.**
- **Se identificaron fugas de metano en cinco de las seis plantas estudiadas. Estas fugas se asociaron más comúnmente con el componente de las tuberías de gas en el separador de gotas de condensación.**
- **Los resultados de este análisis de seis plantas sugiere que la supervisión con FID puede ser una herramienta de control económica para verificar la integridad de las tuberías y componentes del sistema de recolección de metano en plantas WWTP, vertederos y otras instalaciones que producen biogás.**

Peter Erndwein, MS, CIH, CPEA, ARM, es director de control de riesgos en Delaware Valley Insurance Trusts, una fondo de riesgos compartidos con miembros en toda Pennsylvania. Tiene más de 23 años de experiencia ayudando a empleadores públicos y privados a abordar las necesidades de gestión de riesgos.

Digestión de lodos anaeróbicos

La digestión de lodo anaeróbico es un proceso en el cual los sólidos orgánicos generados durante el tratamiento de aguas residuales municipales son degradados mediante bacterias anaeróbicas. Como subproducto del metabolismo, las bacterias generan un gas de lodo que es del 60% al 70% metano, del 30% al 40% dióxido de carbono y del 0% al 3% sustancias residuales (Erftverband, 2006). Se ha descrito que las tasas de generación de gas para los procesos de digestión municipales van de 0.8 a 1 m^3/kg de sólidos volátiles destruidos (Vesilind, 2003).

El gas del lodo no tiene olor mediante la adición de sulfuro o compuestos mercaptanos como es una práctica común para el gas combustible comercial. Consecuentemente, el personal de la planta no recibe advertencia olfativa alguna de las fugas. Por el contrario, el personal debe confiar en los sistemas portátiles de supervisión de gas inflamable, así como en las pruebas de pompas de jabón en los equipos para identificar fugas en el sistema.

El gas de lodo se maneja de diversas maneras, dependiendo de la cantidad generada por su contenido de metano. El gas se puede ventilar directamente a la atmósfera si es que se genera en pequeñas cantidades (por ejemplo, si las concentraciones son menos de 10% de el límite explosivo inferior), o bien se puede oxidar térmicamente mediante un sistema de llamarada automática. Sin embargo, lo más común es que el gas de lodo rico en metano se oxide térmicamente en un horno industrial para fines de recuperación de energía. Menos común es la oxidación térmica en una turbina de gas para producir energía eléctrica (Erftverband, 2006). La fotografía muestra la construcción de un típico digestor de lodo anaeróbico en una WWTP municipal.

Incidencia de las explosiones de metano en las operaciones de digestores de lodo anaeróbico

Aunque la presencia potencial de metano en los WWTP municipales y en la infraestructura de recolección está bien descrita en las publicaciones pertinentes, hay poca evidencia que sugiera que las explosiones de metano sean nada más que eventos poco frecuentes. La explosión de 2009 fue la primera para las aseguradoras de compensación a trabajadores, que ha estado cubriendo a

Fotografía 1: Construcción de un digestor de lodo anaeróbico típico.

los WWTP municipales desde 1992.

Una indagación en la documentación sobre explosiones similares que ocurrieron en Pennsylvania dio con un informe de NIOSH de 1987, el cual describía una explosión de un digestor con consecuencias fatales en un WWTP de un distrito distinto. En este caso, NIOSH concluyó que la explosión se produjo cuando se reventó una luz que no era a prueba de explosiones empleada por los operadores que drenaban un digestor de lodo, inflamando el metano residual dentro del tanque. Además, el autor tiene conocimiento de una sola otra explosión de metano que se produjera en alguna otra WWTP asegurada en la década de 1960.

La relativamente baja tasa de incidencia de explosiones de metano en WWTP en Pennsylvania puede deberse a los rigurosos requisitos de permiso por parte del Departamento de Protección Ambiental (Department of Environmental Protection, DEP) estatal. Estos requisitos incluyen pautas de diseño de organismos que especifican los controles de explosión de procesos y la aprobación de plantas por parte de organismos antes de que se otorguen los permisos de operación (Pennsylvania DEP, 1997). El autor también ha establecido que los WWTP municipales construidos en la década de 1980 y más recientemente suelen tener sistemas más sofisticados de ventilación y supervisión de gases explosivos en comparación con los WWTP construidos a finales de la décadas de los sesentas y setentas.

Respuesta inicial ante explosiones por parte de las aseguradoras

La explosión de gas metano tuvo un importante efecto adverso en los empleados lesionados, sus familias, el personal de la planta, la municipalidad y las aseguradoras. En respuesta a esta gran pérdida, la aseguradora de indemnización de los trabajadores de la municipalidad, a través de su departamento de control de riesgos, inició una revisión de la seguridad de todas las operaciones de WWTP que tenían cobertura de seguros.

Se identificaron seis plantas, incluyendo la planta afectada por la explosión, como operadores de digestión de lodo anaeróbico. La aseguradora inició una revisión de la documentación y publicó un manual consultivo para sus miembros que resumía las mejores prácticas técnicas para evitar explosiones de metano en procesos de digestores de lodo anaeróbico. Se instauraron las mejores prácticas técnicas basándose en las ediciones actuales de las siguientes normas y pautas:

- Pennsylvania DEP *Domestic Wastewater Facilities Manual* (1997);
- NFPA 820, Standard for Fire Protection in Wastewater Treatment and Collection Facilities (2008);
- NFPA 54, National Fuel Gas Code (2009);
- NFPA 85, Boilers and Combustion Systems (2011);
- NFPA 86, Standards for Ovens and Furnaces (2011);
- American Society of Mechanical Engineers (ASME) CSD-1, Controls and Safety Devices for Boilers (2009);
- OSHA 29 CFR 1910.119, Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals (2011).

Antes de distribuir el manual consultivo, el documento fue revisado por expertos del proveedor de seguros de la caldera y maquinaria del fondo de riesgos. (Para solicitar una copia del manual, envíe un correo electrónico a **perndwein@dvit.com**.)

Además del manual consultivo, el personal de control de riesgos llevó a cabo otras dos intervenciones. Primero, el grupo efectuó inspecciones focalizadas en las seis instalaciones que desempeñaban procesos de digestión de lodo anaeróbico para verificar el cumplimiento con las mejores prácticas técnicas. En segundo lugar, se estableció un programa para brindar apoyo financiero a los miembros con la expectativa de que iniciaran una evaluación independiente de la integridad mecánica de sus procesos utilizando recursos técnicos del contrato interno.

Si bien las auditorías iniciales focalizadas fueron hechas por el personal de control de riesgos de la aseguradora, hasta la fecha sólo una de las seis plantas ha utilizado el programa de incentivo financiero. Discusiones posteriores con los miembros del fondo de riesgos indican un agradecimiento por los fondos adicionales; sin embargo, debido a la recesión y a los posteriores recortes presupuestarios discrecionales, los gastos para todos los proyectos no fundamentales se han estancado temporalmente.

Proyecto de supervisión de emisiones fugitivas de metano

Debido al éxito limitado de la iniciativa de fondos de asistencia técnica, el personal de control de riesgos decidió

Tabla 1

Resultados de la supervisión de emisiones fugitivas de metano

Planta	Ubicación de la fuga	Concentración (ppm)
A	Depósito de cieno	3,500 a 4,000
	Depósito de goteo	> 4,000
	Brida de la tubería de acero	1,200 a 1,600
	Brida de la tubería de acero	800 a 1,200
B	Depósito de goteo	1,076 a 1,308
	Acumulador	1,800 a 2,200
C	Depósito de goteo	704 to > 4,000
D	Depósito de goteo	1,284 a 3,000
E	Nada. El gas del cieno no se está recolectando	
F	Manómetro	> 4,000

buscar una estrategia alternativa para las seis WWTP problemáticas. Las pruebas no destructivas tales como la radiografía ultrasónica e industrial fueron descartadas debido al alto costo del proyecto. Como la mejor opcion, el grupo decidió efectuar un estudio de integridad mecánica utilizando una metodología de control de la contaminación del aire, Método 21 de EPA (2011). El método 21 se desarrolló originalmente para permitir que plantas selectas fijas que verifiquen la conformidad con las cláusulas de permisión de aire. El método emplea un instrumento de supervisión de lectura directa para ubicar y clasificar la fuga de compuestos volátiles orgánicos (VOC, por sus siglas en inglés) en los componentes del proceso tales como válvulas, bridas, sellos y bombas.

Debido a que el grupo de riesgo carecía de personal e instrumentación para completar el estudio internamente, contrató una firma local de asesoría en higiene industrial para que llevara a cabo el trabajo en terreno. En asesoría con los CIH de la firma, el equipo decidió utilizar un detector de ionización de llama (FID) portátil para la supervisión. Este instrumento mide las concentraciones de gases y vapores orgánicos combustibles, y se emplea comúnmente para la supervisión mediante el Método 21 de EPA. Basándose en la documentación del fabricante, el instrumento tiene un límite de detección inferior para el metano de 0.5 ppm con un margen de detección de 0.5 a 50,000 ppm (PerkinElmer Inc., 2000). La fotografía 2 muestra cómo se podría utilizar un FID en un modo de investigación en terreno.

FID portátiles

Los detectores de ionización de llama (FID, por sus siglas en inglés) son instrumentos portátiles de supervisión de lectura directa capaces de detectar una gran variedad de compuestos orgánicos, incluyendo el metano a bajas concentraciones de ppm. Los instrumentos se utilizan comúnmente en respuesta ante emergencias y operaciones de reparaciones ambientales. El FID es también el instrumento de preferencia al llevar a cabo supervisión de emisiones fugitivas, en conformidad con el método 21 de EPA en EE. UU. (PerkinElmer Inc., 2000).

Fotografía 2: Detector de ionización de llama portátil MicroFID (*Imagen gentileza de Photovac, marca de INFICON*).

Dada la naturaleza de las operaciones de tratamiento y el potencial de interferencia de los compuestos VOC residuales, se estableció un límite de 1,000 ppm como indicador de una fuga de metano significativa. Este nivel fue aproximadamente una clasificación de la magnitud bajo el límite de detección inferior del equipo fijo y manual de supervisión de gas explosivo disponible para los empleados en la WWTP donde se produjo la explosión. La firma consultora visitó cada WWTP objetivo y realizó una exploración con FID de todas las tuberías de recolección de metano accesibles y componentes del sistema.

Resultados de la supervisión

El estudio de supervisión se efectuó durante 6 días en marzo de 2011. Se identificaron fugas significativas en cinco de seis plantas. El día del estudio, la planta E, donde había ocurrido la explosión, estuvo ventilando gas de lodo directamente a la atmósfera y, por ello, no estaba acumulando metano en su sistema de recolección. La tabla 1 resume los resultados que excedieron el nivel de acción establecido de 1,000 ppm.

Análisis

Los resultados de la supervisión se entregaron a cada superintendente de WWTP junto con fotografías del componente del proceso en que se detectaron las fugas. Se le pidió a los superintendentes que efectuaran mantenimiento correctivo y notificaran al personal de control de riesgos cuando se hubiesen abordado las fugas.

De considerable interés fue la observación de que cuatro de las cinco instalaciones que recolectan metano activamente presentaron fugas significativas con el componente del proceso correspondiente al separador de gotas de condensación. Debido a que el vapor de agua es un componente normal de la producción de gas de lodo, los separadores de gotas son componentes estándar del proceso diseñados para eliminar de los sistemas de tuberías la humedad potencialmente corrosiva (ASME, 2001). Los separadores de gotas permiten que las tuberías se drenen periódicamente, evitando el escape del gas de lodo. La guía de permisos del DEP de Pennsylvania (1997) le indica a los autorizados que deben instalar separadores de gotas en los puntos bajos de las tuberías del proceso, donde se tiende a acumular humedad. Las fotografías 3 y 4 muestran ejemplos de separadores de gotas por condensación típicas que se encontraron durante el estudio.

Este hallazgo inesperado sugiere que los sellos del separador de gotas pueden deteriorarse con el tiempo y, por consiguiente, se deben someter a revisiones de mantenimiento preventivo periódicos. Una investigación por Internet no indicó que esta inquietud se hubiera descrito previamente en las publicaciones técnicas. Este hallazgo también sugiere que la zona cercana al separador de gotas es una buena ubicación para un sensor del sistema fijo de supervisión de gas. El sensor podría proporcionar una advertencia temprana del deterioro del sello.

Con posterioridad al descubrimiento, el personal de control de riesgos efectuó una investigación por Internet para localizar una guía de fabricantes para la inspección y mantenimiento de separadores de gotas. La mayoría de las publicaciones de los fabricantes no especificaba

Reconocimientos
Gracias a Linda Poole (DVWCT) por su aporte y a Dean Lamborn (1Source Safety y Health Inc.) por su trabajo en terreno. Este artículo está dedicado al trabajador de la planta de tratamiento de aguas residuales que sufrió lesiones invalidantes en la explosión de WWTP el 2009.

mantenimiento ni intervalos o procedimientos de prueba. Un fabricante proporcionó una amplia guía de instalación, operación y mantenimiento para esta línea de separadores de gotas manual. Esta guía estableció que "Es importante inspeccionar regularmente y limpiar los separadores de gotas, especialmente las superficies de asentamiento". Sin embargo, no se especificó ningún intervalo de inspección. Luego se describieron los procedimientos de mantenimiento detallado (Groth Corp., 2003).

Conclusión

Mediante el uso de una metodología EPA de control de la contaminación ambiental y un instrumento de lectura directa, se pueden identificar fugas significativas en el sistema de recolección de metano para tomar las medidas correctivas. El método es un herramienta de selección económica que puede utilizar el personal de gestión de riesgos en ausencia de recursos para pruebas de integridad de tuberías no destructivas más exhaustivas.

Este análisis sugiere que las WWTP, vertederos y otros productores de biogás deben seguir las recomendaciones del fabricante sobre mantenimiento preventivo de separadores de gotas a fin de asegurar la integridad del sello de este equipo. Ante la falta de una recomendación del fabricante sobre la periodicidad de inspecciones, el autor recomienda verificar anualmente el correcto funcionamiento de los separadores de gotas utilizando un instrumento de supervisión que pueda detectar el metano en el rango de 1,000 ppm.

Basándose en el éxito de este proyecto y el potencial para condiciones de deterioro con el tiempo, el personal de control de riesgos planifica repetir la supervisión de emisiones fugitivas cada 5 años para los asegurados actuales. Además, los nuevos miembros están sujetos a una revisión de fugas rutinaria al unirse al fondo de riesgo.

Al publicar estos hallazgos, el autor espera que los propietarios y operadores de WWTP, vertederos y otras instalaciones que generen biogás se someterán a estudios similares y, por lo tanto, evitarán explosiones de metano catastróficas. **PS**

Fotografías 3 y 4: Separadores de gotas de condensación típicos.

Referencias

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2001). Power piping (ASME B31.1-2001). New York, NY: Autor.

ASME. (2009). Controls and safety devices for automatically fired boilers (CSD-1). New York, NY: Autor.

EPA. (2011). Determination of volatile organic compound leaks (Method 21–D). Washington, DC: Autor. Extraído de **www.epa.gov/ttn/emc/promgate/m-21.pdf**.

Erftverband. (2006). Producing and using digester gas at a waste water treatment plant. Bergheim, Alemania: Autor. Extraído de **www.erftverband.de/digester-gas.pdf**.

Groth Corp. (2003). Installation, operation and maintenance: Groth models 8460 and 8470 manual drip traps (IOM 8460.1). Stafford, TX: Autor. Extraído de **www.grothcorp.com/uploads/docLib_1114_IOM-8460.pdf**.

NFPA. (2008). Standard for fire protection in wastewater treatment and collection facilities (NFPA 820). Quincy, MA: Autor.

NFPA. (2009). National fuel gas code (NFPA 54). Quincy, MA: Autor.

NFPA. (2011). Boilers and combustion systems (NFPA 85). Quincy, MA: Autor.

NFPA. (2011). Standards for ovens and furnaces (NFPA 86). Quincy, MA: Autor.

NIOSH. (1987). Digester explosion kills two workers at wastewater treatment plant in Pennsylvania (NIOSH FACE Report No. 8733). Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services, CDC, autor. Extraído de **www.cdc.gov/niosh/face/in-house/full8733.html**.

OSHA. (2011). Process safety management of highly hazardous chemicals (29 CFR 18910.119). Washington, DC: U.S. Department of Labor, Author. Extraído Abril14, 2011, from **www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document ?p_able=STANDARDS&p_id=9760**.

Pennsylvania Department of Environment Protection. (1997). *Domestic wastewater facilities manual: A guide for the preparation of applications, reports and plans.* Harrisburg, PA: Autor.

PerkinElmer Inc. (2000). Photovac MicroFID portable flame ionization detector: Operations manual. Norwalk, CT: Autor. Extraído de **www2.raeco.com/products/gasmonitoring/Photovac-MicroFID/microFID_man.pdf**.

Vesilind, A. (2003). *Wastewater treatment plant design.* Alexandria, VA: Water Environment Federation.

Debido a la naturaleza técnica de la información presentada en estos artículos, puede que haya imprecisiones en las traducciones del inglés. ASSE no garantiza estas traducciones y se desliga de las responsabilidades e implicancias legales, incluyendo daños reales o consecuentes causados por posibles traducciones inexactas.

Desarrollo de las mejores prácticas laborales y técnicas

El departamento de control de riesgos tiene la misión fundamental de informar a los miembros del fondo de riesgos las intervenciones prácticas para evitar las pérdidas personales y materiales. Tras las consecuencias de la explosión del digestor de lodo, el departamento inició un proceso para identificar las reglamentaciones, normas y pautas vigentes que sirven como base para un manual consultivo para sus miembros. Aprovechando la pericia del personal interno y de sus socios proveedores externos, el personal de control de riesgos primero confeccionó una lista de posibles organismos gubernamentales y organizaciones que establecen normas para la industria del tratamiento de las aguas residuales.

Se indagaron los sitios web para cada entidad en busca de las prácticas técnicas y laborales pertinentes. Se evaluaron los resultados de la búsqueda y se especificaron prácticas laborales seguras en un solo documento de guía. El producto de este trabajo fue posteriormente revisado por la aseguradora de la caldera y la maquinara del fondo de riesgos en cuanto a su contenido técnico y uniformidad. El documento de guía final fue finalmente distribuido al contacto de control de riesgos de cada sitio para su instauración.

A partir de este esfuerzo, el grupo de control de riesgos concluyó que la enorme cantidad de normas y pautas de seguridad presentan un importante desafío para los empleadores municipales cuya labor es garantizar su cumplimiento.