

# BIOGAS

# Safety first!

Directrices para el uso seguro  
de la tecnología del biogás



Español

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Fachverband  
**BIOGAS**

German Biogas Association  
[www.biogas.org](http://www.biogas.org)

# Índice

<b>Citas .....</b>	<b>4</b>
<b>Prefacio .....</b>	<b>5</b>
<b>Requisitos generales .....</b>	<b>6</b>
1. Introducción.....	6
2. Términos y definiciones .....	7
3. Propiedades del biogás .....	9
4. Peligros .....	10
4.1. Peligros para el medio ambiente .....	12
4.2. Peligros para la salud humana .....	13
4.3. Sustancias peligrosas .....	13
4.4. Agentes biológicos .....	13
4.5. Peligros derivados de aparatos eléctricos .....	14
4.6. Peligros mecánicos .....	14
4.7. Peligros originados por el biogás .....	14
4.8. Peligros de explosión e incendio .....	15
4.9. Fuentes de peligro procedentes del entorno.....	16
4.10. Peligros derivados de un comportamiento inadecuado .....	16
5. Evaluación del peligro .....	17
5.1. Evaluación del peligro para estados operativos específicos .....	19
5.2. Arranque/puesta en marcha .....	19
5.3. Mantenimiento y labores de reparación .....	19
5.4. Cierre/clausura .....	21
5.5. Documento de protección contra explosiones .....	21
5.6. Requisitos de los equipos de trabajo en áreas peligrosas .....	23
6. Plan de protección contra incendios .....	24
6.1. Protección estructural contra incendios .....	24
6.2. Protección contra incendios de carácter organizativo .....	25
7. Medidas de protección.....	26
7.1. Medidas de protección de carácter organizativo .....	26
7.2. Medidas de protección personal.....	28
8. Documentación .....	30
<b>Requisitos específicos .....</b>	<b>31</b>
1. Requisitos para los sistemas de alimentación .....	31
2. Requisitos de los sistemas de tratamiento de sustrato.....	33
3. Requisitos de los tanques de retención/pozos preliminares.....	34

4. Requisitos del digestor .....	35
5. Requisitos del tanque de almacenamiento de gas .....	37
6. Requisitos de las estructuras para tejados de madera en sistemas de almacenamiento de gas.....	39
7. Requisitos de las salas de instalación para sistemas de almacenamiento de gas.....	40
8. Requisitos de las piezas de transporte de sustrato de las plantas de biogás.....	41
9. Requisitos de las piezas de transporte de gas de las plantas de biogás .....	42
10. Requisitos de las trampas de condensado .....	43
11. Requisitos de los dispositivos de protección contra sobrepresión y subpresión .....	44
12. Requisitos de la purificación del gas.....	45
12.1. Desulfurización interna mediante el suministro de aire a espacios de gas en el digestor.....	45
12.1. Desulfurización interna mediante la adición de compuestos ferruginosos .....	45
12.3. Desulfurización mediante materiales ferrosos o carbón activo en instalaciones externas .....	46
13. Requisitos del análisis de gas .....	46
14. Requisitos de los accesorios y dispositivos de seguridad expuestos al gas .....	47
15. Requisitos de las antorchas de gas .....	47
16. Requisitos del sistema de control de procesos/del sistema de instrumentación y control (I&C).....	48
17. Requisitos de la ingeniería eléctrica .....	49
17.1. Conexión equipotencial .....	49
17.2. Medidas de protección en caso de interrupción del suministro eléctrico.....	50
18. Requisitos de la protección contra rayos.....	52
19. Requisitos de las salas con partes de planta que transportan sustrato y/o gas.....	52
<b>Inspecciones y pruebas.....</b>	<b>54</b>
<b>Enriquecimiento de biogás para transformarlo en biometano .....</b>	<b>55</b>
<b>Recomendaciones para la operación segura.....</b>	<b>58</b>
1. Recomendaciones en relación con el marco legal .....	59
2. Formación en la industria.....	59
<b>Anexos .....</b>	<b>60</b>
Anexo 1: Evaluación del peligro .....	60
Anexo 2: Formulario de instrucción para subcontratistas y empleados para las labores de mantenimiento, instalación y reparación .....	61
<b>Organizaciones .....</b>	<b>64</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>66</b>
<b>Créditos .....</b>	<b>67</b>

# Citas



‘El biogás es un componente clave en el suministro descentralizado de energías renovables, pero solamente logrará ser aceptado a largo plazo si las plantas de biogás se operan de forma profesional. Así pues, es tan importante observar los últimos avances tecnológicos en este campo como en otras formas de generación de electricidad. Esto significa que todas las instancias involucradas —fabricantes, distribuidores y operadores— deben cumplir las normas y requisitos pertinentes (en particular las directivas europeas, tales como la Directiva 2006/42/CE relativa a las máquinas y la Directiva 2014/34/UE (ATEX)). Asimismo, deben evaluar adecuadamente cualquier peligro que pueda existir en relación tanto con la salud y la seguridad laboral como con la protección del medio ambiente, y, a partir de ahí, formular e implementar las medidas de protección necesarias. Esto implica, en cierto grado, afrontar un desafío de carácter técnico para comprender la ingeniería de procesos subyacente a la planta adquirida del fabricante, pero también un desafío de índole organizativa por la necesidad de elaborar la documentación pertinente.

En Alemania, por ejemplo, la Asociación Alemana de Biogás (Fachverband Biogas e.V.) colabora permanentemente con las autoridades y organismos especializados para lidiar con asuntos complejos y encontrar soluciones prácticas. A este respecto, se ha generado una amplia variedad de guías de trabajo, fichas informativas, etc., cuyo principal contenido tenemos el gusto de presentarles en esta publicación.

Al fin y al cabo, como ya he afirmado antes: solo plantas seguras lograrán la aceptación del biogás a largo plazo.’

– Josef Ziegler,  
Portavoz del grupo de trabajo en materia de seguridad  
de la Asociación Alemana de Biogás



‘En el área de las energías renovables y la eficiencia energética, la GIZ está implementando actualmente 170 proyectos en más de 50 países, de los cuales, más de 20 se centran en el biogás o bien el biogás figura entre sus componentes. Por lo tanto, desde la perspectiva de la política de desarrollo, es sabido que el biogás presenta un sinnúmero de ventajas, como por ejemplo la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la provisión fiable de energía ecológica, y la creación de puestos de trabajo.

En comparación con Alemania, la mayoría de nuestros países contraparte no ha establecido requisitos específicos relativos a la seguridad en las plantas de biogás. Asimismo, resulta obvio que los posibles accidentes que pudieran producirse en las plantas de biogás serían muy perjudiciales para el desarrollo de un mercado del biogás sostenible. Por consiguiente, el tema de la seguridad es una parte importante de nuestro trabajo y es crucial para nuestras contrapartes de cara a garantizar que los proyectos con el biogás sean sostenibles, eficientes y seguros.’

– Bernhard Zymła  
Responsable de Energía y Transporte  
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

# Prefacio

A fin de que la explotación de las plantas de biogás sea sostenible, eficiente y fiable, la seguridad es una cuestión de vital importancia.

El biogás está clasificado como una mezcla de gases altamente inflamables que, si se inhala, puede ser nociva para la salud debido a sus componentes tóxicos. Los sistemas de ingeniería de procesos que se utilizan en las plantas de biogás pueden ser altamente complejos. Ante tantos y tan variados peligros, es extremadamente importante contar con medidas de protección fundamentales con vistas a reducir al mínimo los riesgos derivados de las plantas del biogás para las personas y el entorno.

Las presentes directrices de seguridad para las plantas de biogás ofrecen una exhaustiva descripción en relación con el tema de la seguridad en las plantas de biogás y señalan varias formas de asistencia práctica que se basan en gran medida en las recomendaciones de la Información Técnica n.º 4 del Organismo alemán de la Seguridad Social para la Agricultura, la Silvicultura y la Horticultura (SVLFG, por sus siglas en alemán). Por consiguiente, estas directrices de seguridad constituyen una fuente esencial de información para todas aquellas personas implicadas en la planificación, construcción, operación, mantenimiento y puesta a prueba de las plantas de biogás. Además, la finalidad de esta publicación —que ha visto la luz en cooperación con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH— es proporcionar una base a los y las responsables de la toma de decisiones políticas para que puedan desarrollar posibles marcos y normas de seguridad nacionales.

Las directrices se centran en las plantas de biogás en el segmento de tamaño medio y grande. Las microplantas y las plantas de biogás domésticas no se tratan en detalle en esta publicación. Aparte de concienciar sobre el tema de la seguridad, este folleto tiene asimismo por objetivo presentar propuestas relativas a los requisitos de seguridad aplicables a escala internacional que deberían cumplir las plantas de biogás. La atención se dirige principalmente a la salud y la seguridad laboral, en otras palabras, a la protección de los operadores, empleados y empleadas y otras personas (terceras partes).

Las directrices se dividen básicamente en dos secciones principales: los requisitos generales, que cubren temas importantes, como los diferentes peligros y riesgos que entraña una planta de biogás; y los requisitos específicos, como aquellos que se aplican a las piezas y componentes de una planta de biogás. Además, se mencionan también los requisitos para la producción de biometano. En la sección final, la Asociación Alemana de Biogás brinda recomendaciones para el desarrollo de normas de seguridad en relación con el biogás.

El biogás presenta muchas ventajas: responde a un concepto descentralizado, es respetuoso con el clima y una fuente de energía confiable y segura, siempre y cuando se respeten ciertas reglas. Mediante esta publicación, la Asociación Alemana de Biogás y la GIZ esperan ayudar a que se haga uso de la amplia experiencia obtenida en torno a este tema en Alemania a fin de lograr avances en relación con la seguridad en las plantas de biogás en los mercados internacionales.



# Requisitos generales

## 1. Requisitos generales

Resulta sumamente importante que las plantas de biogás se operen bajo condiciones de seguridad, dada la altamente compleja ingeniería de procesos que conlleva la producción y almacenamiento de gases altamente inflamables. No obstante, si se adoptan las medidas de prevención adecuadas, estos peligros pueden limitarse y reducirse de forma que las amenazas potenciales sean manejables y la planta se opere de la forma prevista. A fin de garantizar que una planta pueda ser operada en condiciones de seguridad, se debe tener presente que la seguridad del biogás comienza desde la fase de planificación y continúa a lo largo de todo el ciclo de operación de la planta, siendo necesaria la colaboración entre los fabricantes, los asesores de planificación y los operadores.

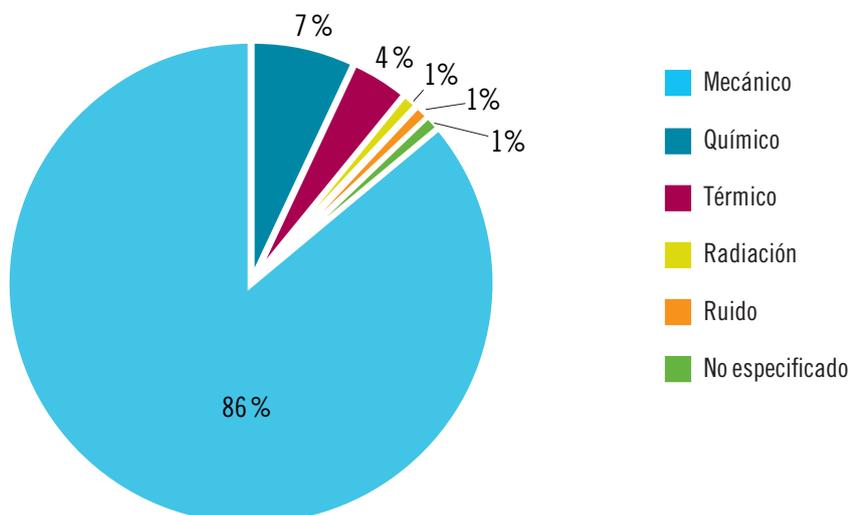
No obstante, pese a adoptar diversas medidas de índole técnica, organizativa y de protección personal, en ocasiones aún pueden derivarse amenazas para las personas y la naturaleza de las plantas de biogás. El Organismo alemán de la Seguridad Social para la Agricultura, la Silvicultura y la Horticultura (SVLFG) es la organización responsable del seguro contra accidentes laborales de los agricultores alemanes, entre otros servicios. En 2012, analizó las lesiones personales sufridas por trabajadores en las plantas de biogás entre 2009 y 2012. Como se muestra en la Figura 1,

los accidentes más comunes en las plantas de biogás durante ese período fueron de naturaleza mecánica (golpes causados por objetos, caídas, cortes, contusiones, etc.). De los accidentes analizados, casi el 50 % se produjo durante actividades de mantenimiento y menos del 1 % redundó en lesiones mortales.

La aplicación de sustancias químicas tóxicas, nocivas y/o sensibilizantes al proceso —los auxiliares tecnológicos, los agentes biológicos o los compuestos utilizados para desulfurizar el biogás— ha sido también la causa de varios accidentes en plantas de biogás en Alemania.

Esta figura presenta la situación en Alemania en el momento en que se llevó a cabo la encuesta. Gracias a los elevados estándares de seguridad, los accidentes con resultado de lesiones a personas, por ejemplo aquellas causadas por explosión o fuego, son relativamente infrecuentes. En otros países, estas estadísticas pueden presentar resultados completamente diferentes. Resulta obvio, por tanto, que el cumplimiento de las disposiciones específicas (legislación, conjuntos de normas, estándares) puede, efectivamente, influir de manera sustancial en la seguridad de las plantas de biogás y mejorarlas de forma significativa.

Figura 1: Tipos de peligro derivados de accidentes con resultado de lesiones a personas (SVLFG, 2012).



## 2. Términos y definiciones

<b>Amoniaco (NH<sub>3</sub>)</b>	Gas nitrogenado proveniente de la degradación de compuestos que contienen nitrógeno, tales como proteínas, urea y ácido úrico.
<b>Área peligrosa/atmósfera explosiva (zona EX):</b>	Área en la cual se puede producir una atmósfera explosiva peligrosa debido a las condiciones locales y operativas.
<b>Biogás</b>	Producto gaseoso de la digestión anaeróbica que comprende fundamentalmente metano y dióxido de carbono, pero que, dependiendo del sustrato, puede contener también amoníaco, sulfuro de hidrógeno, vapor de agua y otros constituyentes gaseosos o vaporizables.
<b>Biometano</b>	El biometano es un combustible gaseoso producido biológicamente, cuyo principal constituyente es el metano y que se ajusta a los estándares nacionales relativos al gas natural.
<b>Condensado</b>	El biogás producido en el digestor se satura con vapor de agua y debe ser deshidratado antes de su uso en la unidad de cogeneración (CHP). La condensación tiene lugar o bien mediante un conducto subterráneo de dimensiones suficientes en un separador de condensado o bien mediante el secado del biogás.
<b>Desulfurización</b>	Un método físico-químico, biológico o combinado para reducir el contenido de sulfuro de hidrógeno en el biogás.
<b>Digestato</b>	Residuo líquido o sólido obtenido de la producción de biogás que presenta constituyentes orgánicos e inorgánicos.
<b>Digestor (reactor, tanque de digestión)</b>	Contenedor en el que se produce la degradación microbiana del sustrato y se genera biogás.
<b>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Gas incoloro, de olor penetrante y tóxico que resulta irritante para las membranas mucosas. En la atmósfera, el dióxido de azufre se somete a una serie de procesos de conversión que dan lugar a la formación de varias sustancias, entre las que se incluyen ácido sulfuroso, ácido sulfúrico, sulfitos y sulfatos.
<b>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	Gas incoloro, no combustible, con un olor ligeramente ácido, no tóxico por sí mismo que se produce junto con agua como producto final de todos los procesos de combustión; las concentraciones del 4-5 % en el aire provocan un efecto de adormecimiento y las concentraciones por encima del 8 % pueden causar muerte por asfixia.
<b>Distancia de seguridad</b>	Área alrededor de los tanques de almacenamiento de gas para proteger el tanque y su equipamiento.
<b>Enriquecimiento del biogás para transformarlo en biometano</b>	Proceso para separar metano y dióxido de carbono y reducir otros constituyentes gaseosos no deseados (H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> y otros gases traza). El gas resultante presenta un alto contenido de metano (similar al gas natural) y se conoce como biometano.
<b>Límites de explosividad</b>	Si la concentración de biogás en el aire supera un valor mínimo (límite inferior de explosividad, LIE), puede producirse una explosión. Deja de ser posible que se produzca una explosión si la concentración supera un valor máximo (límite superior de explosividad, LSE).

# Requisitos generales

---

<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	Gas incoloro, inodoro y no tóxico; los productos de su combustión son dióxido de carbono y agua. El metano es uno de los gases de efecto invernadero más importantes y es el principal constituyente del biogás, del gas producto del tratamiento de aguas residuales, del gas de vertedero y del gas natural.
<b>Metro cúbico normal Nm<sup>3</sup> o m<sub>N</sub><sup>3</sup></b>	Un metro cúbico normal es la cantidad correspondiente a un metro cúbico de gas a una presión de 1.01325 bares, humedad del 0 % (gas seco) y una temperatura de 0° C.
<b>Óxido de nitrógeno</b>	Los gases monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) se denominan de forma colectiva NOx (óxidos de nitrógeno). El monóxido de nitrógeno es un gas que, pese a ser incoloro e inodoro, es tóxico. El dióxido de nitrógeno es un gas tóxico de color marrón rojizo con un olor penetrante similar al cloro. Se forman en todos los procesos de combustión como un compuesto del nitrógeno y oxígeno atmosféricos, pero también como resultado de la oxidación de los compuestos nitrogenados contenidos en el combustible.
<b>Planta de biogás</b>	Planta diseñada para la producción, el almacenamiento y el uso de biogás, incluyendo todo el equipamiento y las estructuras necesarias para la operación de la planta; el gas se produce a partir de la digestión anaeróbica de materia orgánica.
<b>Purificación del gas</b>	Instalaciones para purificar el biogás (p. ej. desulfurización).
<b>Rango de explosividad</b>	Concentración en la cual los gases, nieblas o vapores combustibles pueden incendiarse mezclados con aire u otro gas que favorezca la combustión.
<b>Sala de instalación</b>	Sala donde se instala el equipo para la purificación, bombeo, análisis del gas o utilización del mismo, incluida la instrumentación necesaria y el equipamiento de control.
<b>Sistema de alimentación de sólidos</b>	Parte de una planta de biogás utilizada para cargar sustratos no bombeables o mezclas de sustratos directamente en el digestor.
<b>Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)</b>	Gas incoloro altamente tóxico que huele de forma similar a los huevos podridos; puede constituir una amenaza para la vida, incluso en bajas concentraciones.
<b>Sustrato</b>	Materia prima para la digestión o la fermentación anaeróbicas.
<b>Tratamiento anaeróbico</b>	Proceso biotecnológico que tiene lugar en ausencia de aire (oxígeno atmosférico) con el fin de degradar materia orgánica para recuperar biogás.
<b>Tanque de almacenamiento de digestato (fosa de estiércol líquido)</b>	Contenedor o fosa donde se almacena estiércol líquido, purines o sustrato digerido antes de su uso subsiguiente.
<b>Tanque de almacenamiento de gas</b>	Tanque hermético o bolsa de membrana donde se almacena temporalmente el biogás.
<b>Unidad de cogeneración (CHP)</b>	Unidad para la conversión de energía química almacenada en energía eléctrica y energía térmica sobre la base de un motor conectado a un generador. Conversión simultánea de la energía liberada en energía eléctrica (o mecánica) y calor destinado para el uso (calor útil).

## 3. Propiedades del biogás

Esencialmente, el biogás se compone de metano (del 50 al 75 % por volumen), dióxido de carbono (del 20 al 50 % v/v), sulfuro de hidrógeno (del 0,01 al 0,4 % v/v) y trazas de amoníaco, hidrógeno, nitrógeno y monóxido de carbono. Además, puede contener sustancias volátiles. Un ejemplo de la composición del biogás de una planta de biogás promedio que utiliza estiércol: metano 60 % v/v, dióxido de carbono 38 % v/v, gases residuales 2 % v/v (véase la Tabla 1).

De conformidad con el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) (United, 2015), el biogás se describe como un gas extremadamente inflamable (H220) y debería mantenerse alejado del calor, superficies calientes, chispas, llamas al descubierto y otras fuentes de ignición, por ejemplo cigarrillos (P210, No fumar); se debería mantener en un recipiente herméticamente cerrado (P233) y almacenar en un lugar bien ventilado (P403 + P235).

Las indicaciones de peligro y los consejos de prudencia (indicaciones H o consejos P) son instrucciones breves relativas al uso de sustancias químicas. Las indicaciones H

describen peligros físicos, peligros para la salud humana y peligros para el medio ambiente. Los consejos P son instrucciones de seguridad que describen precauciones generales, medidas preventivas, respuestas (medidas a tomar después de un accidente), instrucciones de almacenamiento y de eliminación.

*Se puede consultar más información al respecto en el sitio web del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA).*



### Densidad

La densidad del biogás puede variar en función de su composición, contenido de humedad y temperatura. El biogás puede ser más pesado o más ligero que el aire y no se separa por acción de la fuerza de la gravedad. Esta propiedad se debe tener en cuenta a la hora de determinar medidas de protección (p. ej. el posicionamiento de sistemas fijos para advertir de la presencia de gas).

Tabla 1: Propiedades de diversos gases (SVLFG, 2016).

	Biogás (60 % CH <sub>4</sub> )	Gas natural	Propano	Metano	Hidrógeno
Poder calorífico (kWh/m <sup>3</sup> )	6	10	26	10	3
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Densidad con respecto al aire	0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Temperatura de ignición (°C)	700	650	470	595	585
Velocidad máx. propagación llama en aire (m/s)	0,25	0,39	0,42	0,47	0,43
Rango de explosividad (% v/v)	6 - 22	4,4 - 15	1,7- 10,9	4,4 - 16,5	4 - 77
Consumo de aire teórico (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	5,7	9,5	23,9	9,5	2,4

# Requisitos generales

## 4. Peligros

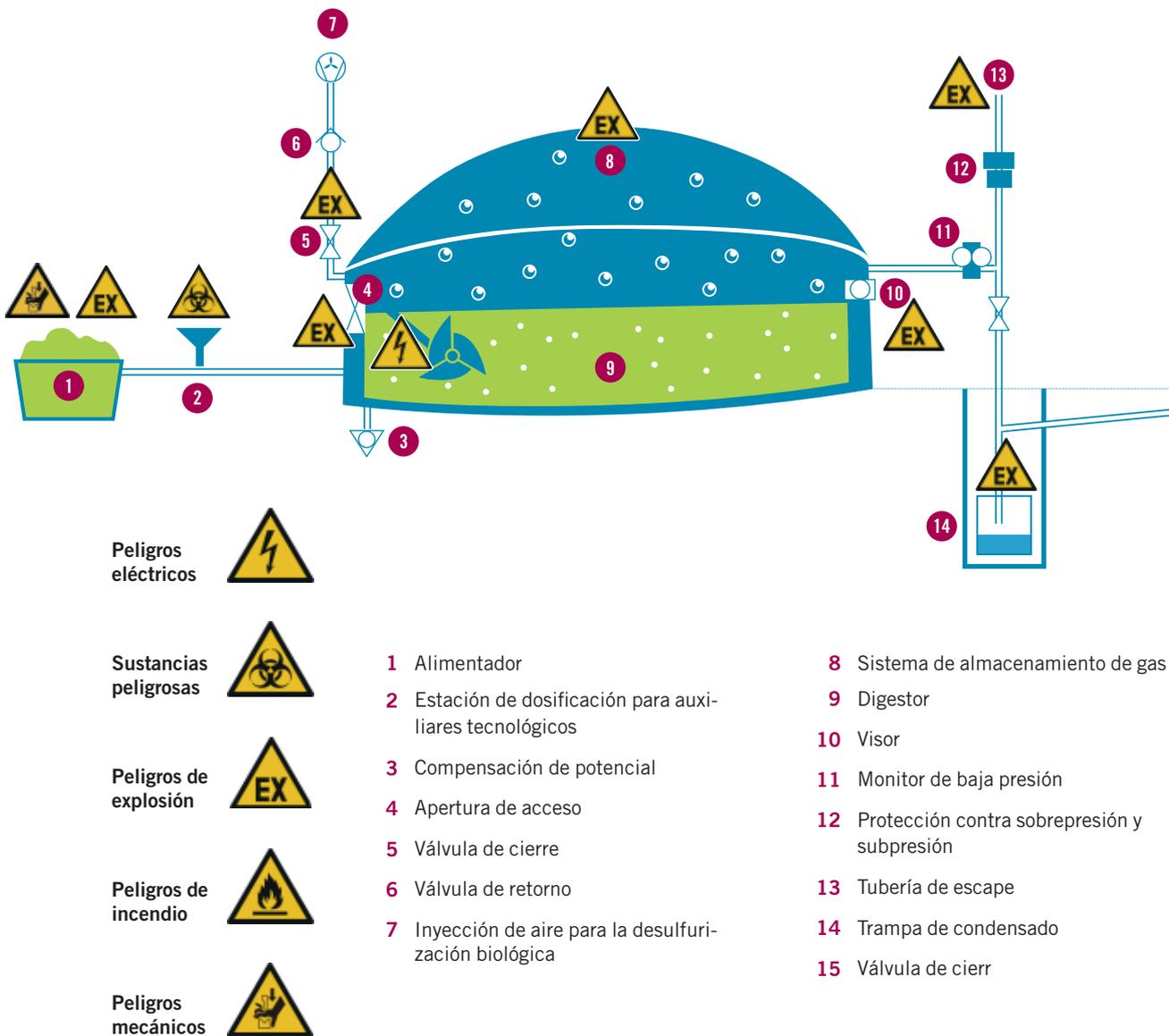
Las plantas de biogás son sistemas de ingeniería de procesos complejos en las cuales puede producirse toda una serie de peligros diferentes. Básicamente, los peligros pueden dividirse en peligros para la salud humana y peligros para el medio ambiente.

Entre los posibles peligros de las plantas de biogás se incluyen, por ejemplo, los incendios y las explosiones, pero también las sustancias peligrosas (p. ej. auxiliares tecnológicos),

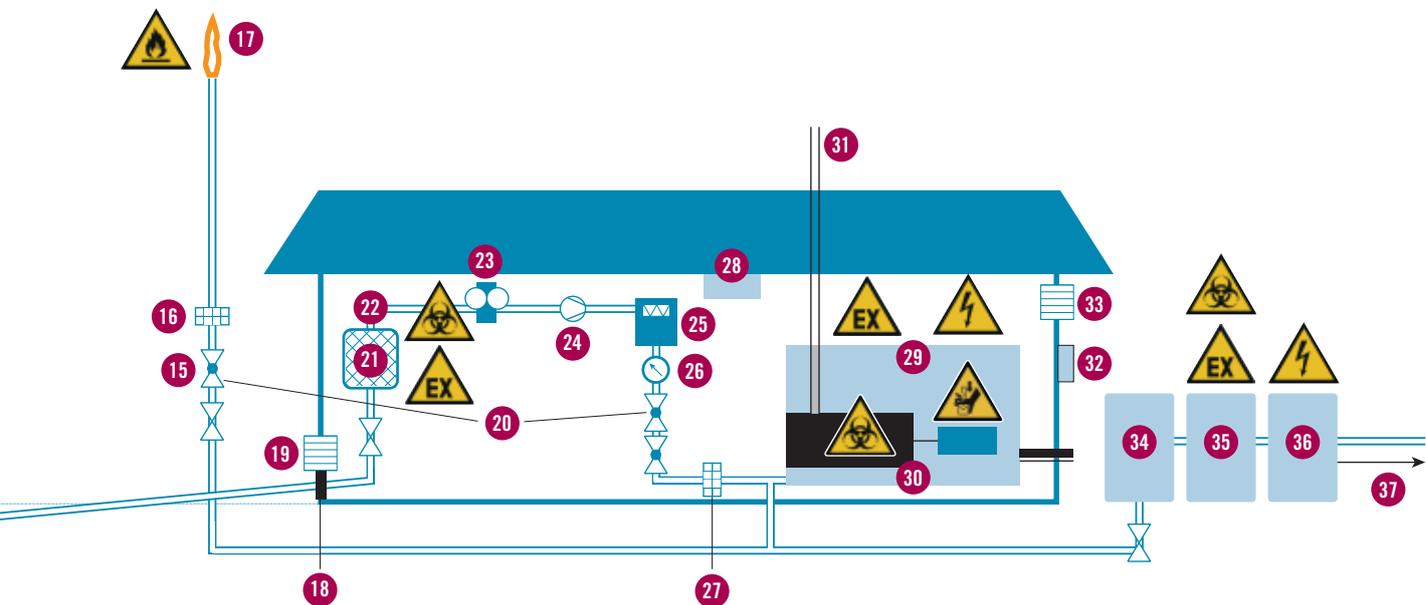
la corriente eléctrica e incluso el propio biogás también conllevan riesgos. También deben ser objeto de atención los peligros mecánicos en determinados componentes de las plantas.

La Figura 2 muestra los principales peligros en relación con las piezas y componentes respectivos de una planta de biogás. En este diagrama la atención se centra en los peligros para la salud humana.

Figura 2: Sinopsis de los peligros en las plantas de biogás



# Requisitos generales



- |       |  |    |  |    |                             |
|-------|--|----|--|----|-----------------------------|
| 15    | Válvula de cierre  | 23 | Monitor de baja presión                        | 31 | Tubería de escape CHP       |
| 16    | Dispositivo arrestallama   | 24 | Compresor                                      | 32 | Interruptor de emergencia   |
| 17    | Antorcha de gas  | 25 | Contador de gas                                | 33 | Salida de aire              |
| 18    | Protección antiincendios para el acceso en la pared de la tubería de gas | 26 | Manómetro                                      | 34 | Unidad de enriquecimiento   |
| 19    | Entrada de aire fresco   | 27 | Dispositivo arrestallama                       | 35 | Unidad de acondicionamiento |
| 20    | Dispositivo de cierre automático   | 28 | Dispositivo de advertencia de presencia de gas | 36 | Unidad de inyección         |
| 21/22 | Filtro fino de gas/filtro de carbón activo                               | 29 | CHP (unidad de cogeneración)                   | 37 | Utilización de biometano    |
|       |  | 30 | Bandeja de aceite                              |    |                             |

# Requisitos generales

## 4.1. Peligros para el medio ambiente



Básicamente, el medio ambiente solamente está expuesto al peligro si se produce una fuga de biogás a la atmósfera o los materiales de trabajo de la planta (p. ej. sustrato de digestión, efluentes de ensilaje, aceites o combustibles) penetran en medios acuáticos vecinos. Un accidente de este tipo puede ser causado por fallos estructurales o errores operativos.

Los peligros para el medio ambiente que se derivan de las plantas de biogás se pueden dividir en emisiones gaseosas al aire y vertidos en el suelo y el agua.

### Efectos de un accidente en una planta de biogás



FUENTE: JOSEF BARTH

En un accidente ocurrido en una planta de biogás en Alemania en junio de 2015, se vertieron cerca de 350.000 litros de purines en medios acuáticos vecinos. Se recogieron de las aguas seis toneladas de peces muertos.

### Emisiones gaseosas

Una de las principales ventajas medioambientales que presenta la tecnología del biogás es que se evitan las emisiones incontroladas de gases de efecto invernadero procedentes del almacenamiento de materiales orgánicos. Además, el biogás sustituye a los combustibles fósiles y los fertilizantes minerales sintéticos, reduciendo así las emisiones de dióxido de carbono y metano. Sin embargo, también se produce metano —un gas de efecto invernadero especialmente potente— mediante el proceso de digestión anaeróbica que tiene lugar en las plantas de biogás. Con el fin de preservar los beneficios del biogás frente al cambio climático, las emisiones no deseadas de metano deben reducirse al mínimo.

Los análisis llevados a cabo en plantas de biogás muestran que el tanque de almacenamiento de digestato constituye una de las principales fuentes de emisiones de metano, especialmente si no cuenta con una cubierta hermética al gas. La unidad CHP también presenta algún peligro, pero en menor grado. Otros componentes de la planta suelen ser relativamente herméticos al gas, pero pueden produ-

cirse fugas de gas en las piezas que conectan el sistema de almacenamiento de gas con los pozos del digestor y el predigestor. Entre las recomendaciones para minimizar las emisiones de metano se incluyen:

- ▶ Todas las obras de construcción deben ser tan herméticas al gas como sea posible.
- ▶ Debe instalarse un sistema de antorcha automático. Esto resulta particularmente relevante en relación con la unidad CHP, dado que ésta permanece apagada entre un 5 y un 10 % del tiempo para realizar labores básicas de mantenimiento y trabajos de reparación; en ese tiempo, se está produciendo biogás continuamente y no se deben permitir las emisiones de biogás sin que haya sido previamente quemado.
- ▶ Debería garantizarse que el dispositivo de seguridad contra sobrepresión de la planta no se active demasiado a menudo, el sistema de antorcha debería entrar en acción antes de que lo haga el dispositivo de seguridad de sobrepresión.
- ▶ Los tanques de almacenamiento de digestato deberían contar con una cubierta hermética al gas.
- ▶ Deberían comprobarse las emisiones de metano con instrumentos de medición adecuados, p. ej. una cámara de infrarrojos para detectar fugas de gas o agentes espumantes.
- ▶ La unidad CHP debería ser optimizada para la combustión de biogás. Las emisiones de metano de las unidades CHP pueden oscilar en un intervalo que abarca desde valores inferiores al 1 % a valores superiores al 2 % de la producción de metano.

Las emisiones de amoníaco procedentes de las plantas de biogás también deberían minimizarse. El amoníaco causa acidificación del suelo, fomenta la eutrofización, puede producir daños en la vegetación y puede causar efectos perjudiciales en la salud (en concentraciones más altas es tóxico; en las aguas subterráneas, convertido en nitrito, afecta negativamente al metabolismo). Las medidas para reducir el amoníaco son similares a las destinadas a reducir el metano, lo cual significa, que deberían evitarse las emisiones de gas a la atmósfera (especialmente procedentes del tanque de almacenamiento de digestato). Las técnicas utilizadas para la dispersión en el campo del digestato tienen una influencia crucial en las emisiones de amoníaco. En la medida de lo posible, el digestato debería incorporarse al suelo rápidamente y, de ser factible, la aplicación no debería producirse cuando la temperatura ambiente es elevada (es decir, preferentemente en días fríos y no en torno al mediodía).

Durante la combustión del biogás se generan varios productos de combustión como óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, etc. Las emisiones de estos productos deberían regularse en el marco de las disposiciones nacionales respectivas.

## Vertidos en el suelo y el agua

Las cantidades de líquidos procesados y almacenados en las plantas de biogás oscilan entre cerca de cien y varios miles de metros cúbicos, los tanques individuales suelen albergar varios miles de metros cúbicos. El contenido de los tanques no debería poder verterse al entorno, ni en el marco del funcionamiento normal ni en caso de accidente. Es más probable que los impactos medioambientales se originen en la carga orgánica y de nutrientes. Si un tanque tiene una fuga, por ejemplo, se vierten al entorno grandes cantidades de líquidos contaminados orgánicamente. La elevada carga orgánica (elevada carga de oxígeno químico) es descompuesta por microorganismos, que de ese modo consumen el oxígeno. Como consecuencia de la drástica reducción del contenido de oxígeno, puede producirse la muerte de las poblaciones de peces. Si se vierten en el entorno grandes cantidades de sustrato, existe un riesgo considerable de eutrofización de los medios acuáticos.

El uso de auxiliares tecnológicos (véase la sección sobre sustancias peligrosas) también lleva aparejado el riesgo de peligros para el medio ambiente. Las mezclas de oligoelementos, por ejemplo, si se derraman en masas de agua, pueden ser altamente tóxicas para los organismos acuáticos y tener un impacto a largo plazo.

## 4.2. Peligros para la salud humana

A la luz de las potenciales fuentes de peligro señaladas anteriormente, es imposible descartar completamente peligros para la salud de los operadores, empleados y terceras partes. Dichos peligros para la salud humana se pueden dividir en cuatro categorías: sustancias peligrosas, peligros eléctricos, peligros mecánicos, y peligros de explosión e incendio.

Los peligros para la salud que se derivan de las sustancias contenidas en el biogás también deben ser tenidos en cuenta (véase la sección sobre peligros originados por gas).

## 4.3. Sustancias peligrosas



Las sustancias peligrosas son sustancias, materiales o mezclas que presentan determinadas propiedades peligrosas. Entre dichas propiedades peligrosas se incluyen “nocivo para la salud”, “tóxico”, “muy tóxico”, “corrosivo”, “sensibilizante” y “cancerígeno”. Las sustancias peligrosas pueden adoptar forma de sólidos, líquidos, aerosoles o gases.

Las sustancias peligrosas que con especial probabilidad se pueden encontrar en las plantas de biogás son el mismo biogás, auxiliares tecnológicos, aceites, carbón activo, efluentes de ensilaje, purines, desechos y agentes biológicos.

Entre los peligros más probables se incluyen:

- ▶ Riesgo de asfixia y/o intoxicación por gases de fermentación/biogás en áreas de recepción de sustrato. Liberación de gases altamente tóxicos, como sulfuro de hidrógeno, en el área de recepción, especialmente durante el proceso de mezclado, como resultado de las reacciones entre los sustratos.
- ▶ Peligros asociados al uso de aditivos y materiales auxiliares con propiedades peligrosas (p. ej. mezclas cancerígenas y reprotóxicas de elementos traza).
- ▶ Peligros que se producen durante la sustitución de los filtros de carbón activo

## 4.4. Agentes biológicos



De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (Hurst & Kirby, 2004), los agentes biológicos son todo microorganismo, cultivo celular o endoparásito humano susceptible de originar cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad o de generar otro tipo de peligro para la salud humana. En las plantas de biogás, estos agentes biológicos pueden encontrarse en el sustrato, el digestato y los condensados del biogás.



FUENTE: MARTINA BRÄSEL

La inhalación de agentes biológicos a través del tracto respiratorio, el contacto mano-boca, el contacto piel/membranas mucosas, los cortes y las heridas profundas son relevantes de cara a la evaluación de potenciales peligros. A continuación, se incluyen ejemplos de peligros que pueden provocar agentes biológicos durante la producción de biogás:

- ▶ Inhalación de polvos o aerosoles con contenido de hongos, bacterias o endotoxinas, por ejemplo, procedentes del ensilaje o de gallinaza seca que se hayan humedecido (SVLFG, 2016).
- ▶ Si las actividades se llevan a cabo con desechos visiblemente mohosos, es imposible descartar efectos tóxicos agudos derivados de la inhalación de micotoxinas u otros productos metabólicos microbiológicos (TRBA 214, 2013).

# Requisitos generales

En las plantas en las que se utilizan otros sustratos además de cultivos energéticos, estiércol líquido y estiércol sólido pueden surgir peligros adicionales: agentes biológicos en cosustratos (p. ej. patógenos); contacto manual durante la clasificación. También se pueden generar varios agentes y materiales de riesgo durante el tratamiento de desechos. Entre ellos, se pueden incluir las impurezas (sustancias interferentes), los cadáveres de animales, o los residuos de hospitales, consultorios médicos u hogares donde hay personas enfermas o que precisan cuidados (p. ej. jeringas y cánulas usadas). Asimismo, los agentes biológicos también pueden ser introducidos por roedores, aves u otros animales y sus excrementos.

## 4.5. Peligros derivados de aparatos eléctricos



En las plantas de biogás se utiliza una gran variedad de aparatos eléctricos (equipos de control, unidad CHP, bombas, agitadores, instrumentos de medición, etc.). Bajo determinadas circunstancias, estos aparatos pueden tener efectos adversos sobre la salud como resultado de los peligros eléctricos que conlleva la presencia de energía eléctrica.

- ▶ Peligro de descarga eléctrica o de arco eléctrico causado por una descarga eléctrica a través del cuerpo de una persona o por un relámpago de arco.  
*Ejemplo:* cables de potencia dañados en los agitadores
- ▶ Peligro procedente de campos eléctricos o magnéticos debido a efectos irritantes en el cuerpo humano provocados por la circulación de corrientes de inducción causadas por campos eléctricos, corrientes inducidas o campos magnéticos. Estos efectos se producen en un intervalo de frecuencia de hasta 30 kHz (intervalo de baja frecuencia).  
*Ejemplo:* radiación electromagnética, eléctrica y magné-

tica procedente del generador de la unidad CHP (peligro para personas con marcapasos).

- ▶ Peligro procedente de la electricidad estática causado por una descarga eléctrica generada por la descarga de electricidad estática.

## 4.6. Peligros mecánicos



En general, los peligros mecánicos no son específicos de la tecnología del biogás. Sin embargo, los tipos de accidente más comunes en las plantas de biogás son atribuibles a peligros mecánicos: caídas, impactos, contusiones, cortes. El foco en relación con accidentes en este contexto incluye el trabajo en el silo u otros trabajos en altura, trabajar cerca de piezas rotativas (p. ej. sistemas de alimentación) o trabajar cerca de vehículos en movimiento (riesgo de atropello). Existe una alta probabilidad de que los accidentes se produzcan durante las labores de mantenimiento y reparación si las medidas de protección tomadas son inadecuadas.

## 4.7. Peligros originados por el biogás

El biogás es una mezcla de diferentes gases, cuya concentración puede variar dependiendo de la planta en cuestión. Los constituyentes del biogás aparecen enumerados más abajo, junto con sus propiedades en relación con los riesgos que suponen para la salud humana (véase la Tabla 2).

El límite de exposición en el lugar de trabajo (TRGS 900, 2016) o límite de exposición profesional (LEP) es la concentración media ponderada cronológicamente de una sustancia en el aire en el lugar de trabajo durante un período de referencia especificado en el cual no se espera que se produzcan daños agudos o crónicos en la salud de los em-

Tabla 2: Propiedades de los constituyentes gaseosos del biogás. Fuentes: (TRGS 900, 2016) y (SVLFG, 2016)

	Propiedades	Atmósfera peligrosa	Límite exposición lugar trabajo
CO <sub>2</sub>	Gas incoloro e inodoro. Más pesado que el aire.	8 % v/v, peligro de asfixia.	5.500 ppm
NH <sub>3</sub>	Gas incoloro de olor penetrante. wMás ligero que el aire	Por encima de 30–40 ppm, se produce irritación de las membranas mucosas, el tracto respiratorio y los ojos. Por encima de 1.000 ppm, dificultad para respirar, puede inducir una pérdida de consciencia.	20 ppm
CH <sub>4</sub>	Gas incoloro de olor penetrante. Más ligero que el aire.	4,4–16,5 %	-
H <sub>2</sub> S	Gas incoloro altamente tóxico. Más pesado que el aire. Hueve a huevos podridos	Por encima de una concentración de 200 ppm, se reduce el sentido del olfato y el gas ya no se percibe. Por encima de 700 ppm, inhalar sulfuro de hidrógeno puede causar paro respiratorio.	5 ppm

# Requisitos generales



FUENTE: LOWE MOHLING

pleados y empleadas. Por regla general, el límite se establece partiendo de la suposición de que la exposición se produce durante ocho horas al día, cinco días a la semana, a lo largo de la vida laboral.

El límite de exposición en el lugar de trabajo se especifica en unidades de  $\text{mg}/\text{m}^3$  y  $\text{ml}/\text{m}^3$  (ppm).

#### 4.8. Peligros de explosión e incendio



Una explosión se define como la reacción química repentina de una sustancia inflamable con oxígeno, liberando grandes cantidades de energía. Al liberar energía, se produce una expansión repentina del volumen de gases. Esto puede ser ocasionado por una atmósfera explosiva, por ejemplo.

Las sustancias inflamables pueden estar presentes en forma de gases, vapores, nieblas o polvos. Una explosión solamente se puede producir si concurren tres factores simultáneamente:

- ▶ sustancia inflamable (que origina una explosión por cuanto a su distribución y concentración)
- ▶ oxígeno (procedente del aire)
- ▶ fuente de ignición

Dependiendo de las circunstancias, en las plantas de biogás se pueden producir dos tipos de explosión: detonación y deflagración.

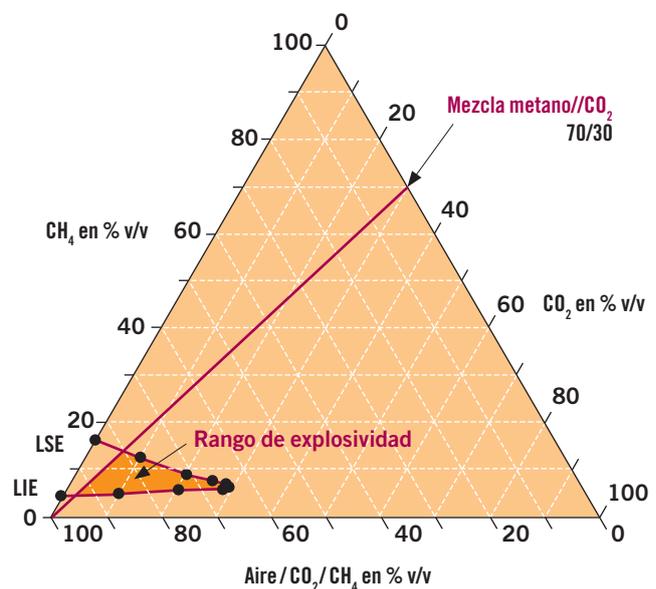
Una detonación es una combustión rápida que se produce en el límite de explosividad. La presión generada es menor que en el caso de una deflagración, pero es suficiente para destrozarse los cristales de las ventanas, por ejemplo. Con frecuencia, las lesiones del personal se limitan a magulladuras, quemaduras y cortes. Una deflagración es una forma de explosión en la cual la velocidad de propagación del frente de reacción es inferior a la velocidad del sonido en el correspondiente medio y las columnas de gas de la combustión fluyen en dirección contraria a la propagación. La presión resultante es suficiente para dañar o destruir edifi-

cios completamente. Las personas pueden sufrir lesiones graves, que incluso pueden llegar a ser mortales.

Si la concentración de biogás en la atmósfera se sitúa entre el 6 y el 22 % v/v, existe riesgo de explosión en presencia de una fuente de ignición (rango de explosividad, atmósfera explosiva). En el caso del gas metano puro, el rango de explosividad oscila entre el 4,4 y el 16,5 % v/v. La temperatura de ignición del biogás y del metano es de 700 y 595 °C respectivamente. La composición del biogás puede variar con respecto a las proporciones de metano y dióxido de carbono, de modo que el rango de explosividad de la mezcla de gas en presencia de aire también varía.

Por lo tanto, la Figura 3 muestra a modo de ejemplo los límites de explosividad de una mezcla de metano/dióxido de carbono (70 %  $\text{CH}_4$  - 30 %  $\text{CO}_2$ ) y su tendencia (límite superior e inferior). Las mezclas gas-aire por encima o por debajo del rango de explosividad no son inflamables.

Figura 3: Triángulo de explosividad del biogás



# Requisitos generales

Ejemplo de rasgado de la membrana en un almacenamiento de gas



FUENTE: VGHVERSICHERUNGEN

Existen varias fuentes potenciales de ignición en las plantas de biogás, tal y como se muestra en la Tabla 3.

#### 4.9. Fuentes de peligro procedentes del entorno

Además de los peligros específicos señalados anteriormente, pueden surgir otras fuentes de peligro por fenómenos meteorológicos u otras fuentes relacionadas con el entorno, por ejemplo por inundaciones, terremotos, tormentas, hielo y/o nieve, cortes de corriente, lluvias torrenciales o escarcha. Asimismo, también hay que tomar en consideración las fuentes de peligro asociadas al lugar, como por ejemplo el efecto de las empresas de los alrededores o la situación del tráfico.

Este tipo de fuentes de peligro relacionadas con el entorno pueden redundar en interacciones con otros peligros específicos.

#### 4.10. Peligros derivados de un comportamiento inadecuado

Los peligros potenciales derivados de un comportamiento inadecuado también deben tenerse en cuenta en relación con el funcionamiento de una planta de biogás. Estos incluyen, por ejemplo:

- ▶ acción por parte de personas no autorizadas;
- ▶ peligros derivados del personal (errores operativos, el servicio de guardia no funciona, omisión deliberada de llevar a cabo medidas correctivas, sabotaje, etc.).

**Tabla 3: Fuentes potenciales de ignición en las plantas de biogás (TRBS 2153, 2009)**

Fuente de ignición	Ejemplos
Superficies calientes	>500 °C (turbocompresores)
Llamas abiertas	Fuego, llamas, brasas
Chispas generadas mecánicamente	Fricción, golpeteo, desbastado
Chispas generadas eléctricamente	Operaciones de conmutación, conexión suelta, corrientes de compensación
Reacción exotérmica	Combustión espontánea de polvos
Rayo	Falta de protección pararrayos
Descarga electrostática	Causada por falta de compensación de potencial

## 5. Evaluación del peligro

Con el fin de prevenir accidentes, los peligros en las plantas de biogás deben identificarse, evaluarse y minimizarse sistemáticamente. Este es el propósito de un análisis de riesgos.

Una herramienta que permite llevar a cabo este análisis es la matriz de riesgos (véase la Tabla 4), en la cual se muestran, en forma de tabla, las probabilidades de que ocurra un evento no deseado (el riesgo) en relación con las consecuencias de ese evento. Las categorías de las probabilidades de que un evento ocurra o surta efecto son: infrecuente, improbable, posible, probable y casi seguro.

Las categorías se “estiman razonablemente” o se verifican estadísticamente en el curso de la evaluación de riesgos. Las categorías correspondientes a la gravedad de las consecuencias son las siguientes:

- ▶ lesiones o enfermedades de poca gravedad, p. ej. magulladuras
- ▶ lesiones o enfermedades de gravedad moderada, p. ej. fracturas óseas simples
- ▶ lesiones o enfermedades graves, p. ej. paraplejia
- ▶ posible fallecimiento, desastre, p. ej. lesiones graves a numerosas personas

Appropriate protective measures must be defined and implemented on the basis of this assessment. The finA raíz de

esta evaluación, deben definirse e implementarse medidas de protección adecuadas. Los resultados obtenidos deben ser tenidos en cuenta en el diseño y la selección de equipos y materiales y a la hora de diseñar las estaciones de trabajo, los procesos de trabajo y producción y las secuencias operativas, así como la manera en que estos interactúan entre sí.

Asimismo, lo anterior se puede definir en normas nacionales. Por regla general, el operador será responsable de realizar la evaluación del peligro, o en su caso, una persona designada por el operador para tal fin. La evaluación del peligro debe actualizarse antes del arranque de la planta, tras cualquier reanudación de las operaciones y después de haber realizado cambios relevantes en términos de seguridad.

Con el fin de brindar asistencia a los operadores a la hora de cumplir sus obligaciones a este respecto, en Alemania ha demostrado ser eficaz que un experto calificado revise tanto la evaluación del peligro como la eficacia de las medidas de protección (véase la Figura 4). Asimismo, es necesario llevar a cabo una evaluación del peligro antes de que se realicen labores de mantenimiento y reparación, y antes de que se corrijan averías y fallos de funcionamiento.

*Los resultados de la evaluación del peligro y las actualizaciones periódicas deberán documentarse, junto con un registro de la implementación de las medidas de protección.*

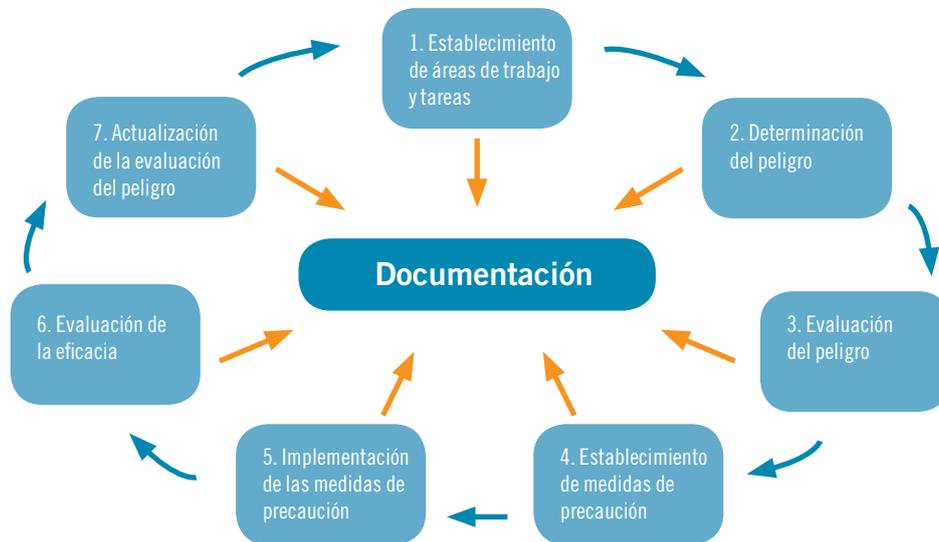


**Table 4: Análisis de riesgos**

			Consecuencias potenciales				
			Lesiones de poca gravedad o malestar. Sin tratamiento médico o consecuencias físicas mensurables	Lesiones o enfermedad que requieren tratamiento médico. Incapacidad temporal	Lesiones o enfermedad que requieren hospitalización	Lesión o enfermedad que causan incapacidad permanente	Fallecimiento
			No significativas	De poca importancia	Moderadas	De gran importancia	Graves
Probabilidad	Se espera que ocurra regularmente bajo circunstancias normales	Casi seguro	Media	Alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
	Se espera que ocurra en algún punto	Probable	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta
	Puede ocurrir en algún punto	Posible	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
	No es probable que ocurra en circunstancias normales	Improbable	Baja	Baja	Media	Media	Alta
	Puede ocurrir, pero probablemente nunca sucederá	Infrecuente	Baja	Baja	Baja	Baja	Media

# Requisitos generales

Figura 4: Medidas en las diferentes fases de la evaluación del peligro



Por regla general, debería aplicarse la jerarquía establecida por el llamado principio TOP (véase la Figura 5) a la hora de implantar medidas de protección. Esto significa que antes de nada es necesario adoptar *medidas técnicas*, tales como cubrir las piezas rotatorias o garantizar que el llenado se realiza en sistemas cerrados. Una vez que se han agotado todas las medidas técnicas de protección posibles, deben implementarse *medidas organizativas*, tales como redactar instrucciones operativas, organizar sesiones de instrucción e información a fin de que los dispositivos y

equipos puedan utilizarse de forma segura, aunque también deberá poder garantizarse por ejemplo que el llenado no tiene lugar cuando se encuentran personas dentro del área de peligro. En algunos casos, pese a contar con medidas de protección técnicas y organizativas no es posible evitar los peligros. En tales ocasiones, deben ponerse en práctica medidas de protección personal para proteger a las personas en caso de peligro. Esto incluye medidas tales como utilizar una mascarilla de respiración si es inevitable que se libere biogás.

Figura 5: Medidas de protección de acuerdo con el principio TOP



## 5.1. Evaluación del peligro para estados operativos específicos

El funcionamiento normal de una planta es el estado en el cual la planta opera dentro de sus parámetros de diseño normales. No es apropiado considerar como funcionamiento normal el proceso de arranque/cierre o las labores de mantenimiento en una planta de biogás en continuo funcionamiento. Las evaluaciones estadísticas de lesiones personales en plantas de biogás ponen de manifiesto una tasa de accidentes significativamente alta en relación con labores de mantenimiento y procesos de arranque y cierre. Por consiguiente, estos estados operativos deberían ser considerados aparte, con instrucciones operativas específicas.

## 5.2. Arranque/puesta en marcha

Resulta siempre recomendable elaborar un plan de arranque antes de iniciar la puesta en marcha y seguirlo estrictamente durante esta fase.

Antes de proceder por primera vez al llenado del digestor, deben haberse completado todos los trabajos relacionados con el mismo, incluidas las tuberías correspondientes, con el fin de prevenir potenciales daños o lesiones. Con el fin de conocer la carga precisa de la planta, se requiere pesar el sustrato correctamente. Esto resulta sumamente importante tanto para el proceso de arranque como para el control continuo del proceso. Además, el análisis químico regular del sustrato y, en particular, de la mezcla de la digestión, constituye un control eficaz para un proceso de arranque rápido. No obstante, si la tasa de carga orgánica aumenta demasiado rápido durante la fase de establecimiento de la biología de digestión, el proceso puede sobrecargarse rápidamente; en última instancia, esto puede prolongar la duración del proceso de arranque. Si los tanques no están llenos completamente, se puede producir una fuga incontrolada de biogás. Por lo tanto, durante el llenado es importante prestar atención a que el nivel de llenado sea el suficiente para garantizar que el equipo de alimentación de sustrato esté completamente sumergido en la fase líquida.

Asimismo, cabe señalar que, durante el arranque de la planta, estará temporalmente presente una mezcla de gas explosiva debido al incremento en la proporción de metano en el biogás (con una fracción del 6-22 % v/v de biogás en el aire).

## 5.3. Mantenimiento y labores de reparación

Solo debería permitirse mantener y reparar las plantas de biogás a aquellas personas que cuenten con los conocimientos especializados y la experiencia necesaria para llevar a cabo las labores pertinentes y de las cuales quepa esperar que van a realizar su trabajo de forma confiable.

Las medidas de protección necesarias para llevar a cabo labores de mantenimiento y reparación en las plantas de biogás deben ser definidas por el cliente sobre la base de la evaluación del peligro (véase la sección titulada evaluación del peligro y la Figura 6) y deben ser aplicadas cuando se realicen dichas labores (TRGS 529, 2016).

*Deben determinarse y documentarse las medidas de protección necesarias como parte de la evaluación del peligro antes de llevar a cabo las labores de mantenimiento y reparación. La documentación debe incluir asimismo instrucciones escritas para la realización de las labores y, además, en caso de labores relacionadas con peligros de ignición, debe contener un sistema de autorización para trabajar (véase el Anexo 2 "Formulario de instrucción para subcontratistas y empleados para labores de mantenimiento, instalación y reparación").*



Durante las labores de mantenimiento en las plantas de biogás, además de las áreas sujetas a peligro de explosión designadas en el documento de protección contra explosiones bajo condiciones operativas normales (véase la sección titulada documento de protección contra explosiones), puede haber otras áreas con una atmósfera explosiva peligrosa (y dependiendo del contenido de H<sub>2</sub>S en el biogás, áreas que presentan un peligro para la salud) durante el tiempo de duración del trabajo (por ejemplo, cuando se abren las cubiertas de membrana para sustituir el agitador).

Entre las medidas de protección adecuadas se incluyen:

- ▶ Establecer y marcar o acordonar áreas en las que cabe esperar que exista riesgo de incendio/explosión o un peligro para la salud.
- ▶ Apagar los sistemas eléctricos y otros sistemas no protegidos frente a explosión.
- ▶ Retirar el biogás de los componentes de la planta.
- ▶ Seleccionar los equipos y las herramientas adecuadas a prueba de explosiones.
- ▶ Medir la distancia de separación, es decir, determinar la concentración de materiales peligrosos o el contenido de oxígeno utilizando técnicas de medición adecuadas en una determinada área. El propósito de esta medida es determinar que la atmósfera circundante es segura para los empleados y adoptar medidas de protección adicionales si es necesario.
- ▶ Usar equipo de protección personal adecuado.
- ▶ Asegurar una ventilación adecuada.
- ▶ Nombrar a un supervisor.

A los empleados que desarrollen su actividad cerca de los lugares donde se llevan a cabo las labores de mantenimien-

# Requisitos generales

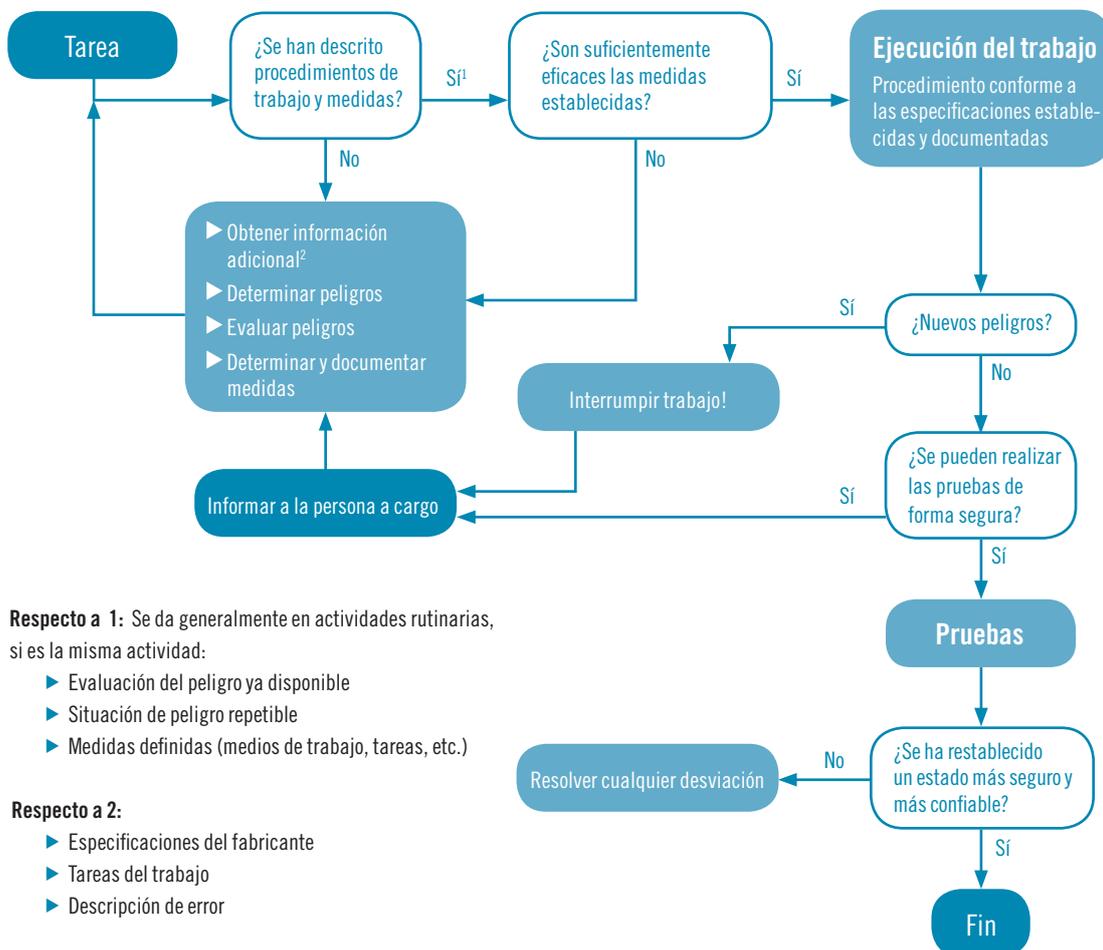
to y reparación se les deberá informar de la hora, la ubicación y la naturaleza del trabajo previsto y de las restricciones y peligros que pueden derivarse en consecuencia y, por consiguiente, de las precauciones y cuidados que deben tener. Las labores de mantenimiento y reparación deben ser realizadas siempre por empleados y empleadas capacitados para realizar ese trabajo y que hayan sido designados por la entidad operadora o propietaria de la planta. Deben contar con suficientes conocimientos especializados para ejecutar la orden de mantenimiento o reparación, gracias a la formación profesional adquirida o a la capacitación técnica recibida. En todo trabajo de mantenimiento y reparación resulta esencial utilizar las herramientas y demás equipos de trabajo adecuados para este fin.

Para resumir, en determinados estados operativos excepcionales el operador deberá

- ▶ definir las responsabilidades de cara a la implementación de las medidas de protección requeridas;

- ▶ garantizar una comunicación adecuada entre el personal operativo y el personal de mantenimiento y reparación;
- ▶ asegurar el área de trabajo durante las labores de mantenimiento y reparación;
- ▶ evitar que terceras partes no autorizadas accedan al área de trabajo, si se considera necesario según la evaluación del peligro;
- ▶ disponer puntos de acceso seguros para el personal de mantenimiento y reparación;
- ▶ evitar los peligros derivados de los equipos o piezas de equipos móviles, de trabajos en altura, de fuentes de energía o de materiales peligrosos;
- ▶ garantizar que los dispositivos están desconectados de las fuentes de energía; la energía mecánica y eléctrica remanentes (p. ej.: fuga de corriente) deberían eliminarse de forma segura; esos dispositivos deben ser marcados o etiquetados adecuadamente;

Figura 6: Diagrama de flujo para mantenimiento y puesta a prueba (TRBS 1112-1, 2010)



**Respecto a 1:** Se da generalmente en actividades rutinarias, si es la misma actividad:

- ▶ Evaluación del peligro ya disponible
- ▶ Situación de peligro repetible
- ▶ Medidas definidas (medios de trabajo, tareas, etc.)

**Respecto a 2:**

- ▶ Especificaciones del fabricante
- ▶ Tareas del trabajo
- ▶ Descripción de error

# Requisitos generales

- ▶ estipular prácticas de trabajo seguras para condiciones de trabajo que se desvíen del estado normal de operación;
- ▶ proveer todos los símbolos de advertencia y señales de advertencia de peligro necesarios en relación con las labores de mantenimiento y reparación en los equipos de trabajo;
- ▶ garantizar que se utilizan solamente dispositivos y herramientas adecuadas y el equipo de protección personal apropiado;
- ▶ cumplir con las medidas de protección relevantes si se da o si se forma una atmósfera explosiva peligrosa;
- ▶ utilizar sistemas para aprobar determinados trabajos.

Si las medidas técnicas de protección aplicadas durante el funcionamiento normal dejan de aplicarse parcial o completamente durante las labores de mantenimiento o reparación en los equipos de trabajo, o si este tipo de labor debe realizarse en presencia de un peligro energético, deberá garantizarse la seguridad de los empleados durante el intervalo de duración de esa labor tomando otras medidas pertinentes. El flujo de trabajo de las medidas de mantenimiento se muestra en la Figura 6.

## 5.4. Cierre/clausura

La retirada del servicio de una planta de biogás es un estado operativo especial que requiere medidas particulares. Las áreas explosivas (zonas EX) clasificadas en el documento de protección contra explosiones (véase la sección titulada Documento de protección contra explosiones) tienen en cuenta este estado operativo solamente hasta cierto punto.

Por consiguiente, estos peligros específicos se consideran por separado en un conjunto de instrucciones de trabajo.

- ▶ El proceso de carga del sustrato en los digestores se detiene, mientras que la retirada del servicio sigue en curso. La cantidad de sustrato retirado no debe exceder el volumen de gas generado a fin de prevenir la formación de una atmósfera explosiva peligrosa.
- ▶ En caso que la cantidad de sustrato retirado supere el volumen de gas generado, el tanque de digestión se desconecte del sistema de recogida de gas y se establezca una conexión con la atmósfera, por ejemplo, al vaciar el sello líquido de la unidad de sobrepresión y subpresión. En ese momento, se puede formar una atmósfera explosiva peligrosa en el digestor como resultado de la entrada de aire. Deben evitarse las fuentes de ignición (véase la sección titulada peligros de explosión e incendio).
- ▶ Debe desconectarse el digestor del sistema de recogida de gas para prevenir un flujo de retorno del gas.

Figura 7: Secuencia de las medidas de protección contra explosiones



- ▶ Se puede formar una atmósfera explosiva peligrosa en torno a las boquillas de salida. Deben evitarse las fuentes de ignición (nuevamente refiérase a la sección titulada peligros de explosión e incendio).
- ▶ Antes de entrar en el digestor y durante el tiempo transcurrido en el tanque debe garantizarse que se ha prevenido de forma segura todo riesgo de asfixia, intoxicación, fuego o explosión mediante una ventilación adecuada y que se dispone de aire suficiente para respirar. Todo equipo operativo, como por ejemplo bombas o agitadores, debe haberse asegurado contra el riesgo de que pueda ser conectado.

## 5.5. Documento de protección contra explosiones

El documento de protección contra explosiones forma parte de la evaluación del peligro e implica la identificación y evaluación de los peligros de explosión. En particular, es necesario para determinar dónde cabe esperar una atmósfera explosiva peligrosa (o atmósfera potencialmente explosiva – APE) y qué fuentes de ignición potenciales podrían causar una ignición (véase la sección titulada peligros de explosión e incendio).

Como principio general, el primer paso consiste en implementar medidas estructurales primarias que prevengan la formación de atmósferas explosivas peligrosas. En segundo lugar, si la atmósfera explosiva peligrosa es inevitable, deben implementarse medidas técnicas; estas medidas están dirigidas a evitar la creación de fuentes de ignición. La última medida debería corresponder a medidas terciarias u organizativas, destinadas a reducir las consecuencias potenciales de una explosión (véase la Figura 7).

# Requisitos generales

Las áreas peligrosas pueden dividirse en zonas de acuerdo con la frecuencia y la duración de la ocurrencia de las atmósferas explosivas peligrosas (véase la Figura 8).

Deben observarse las directrices nacionales sobre la clasificación de áreas como zonas EX. En la segunda parte de este documento se ofrecen ejemplos de zonificación y las medidas de protección asociadas.

Figura 8: Clasificación de zonas EX

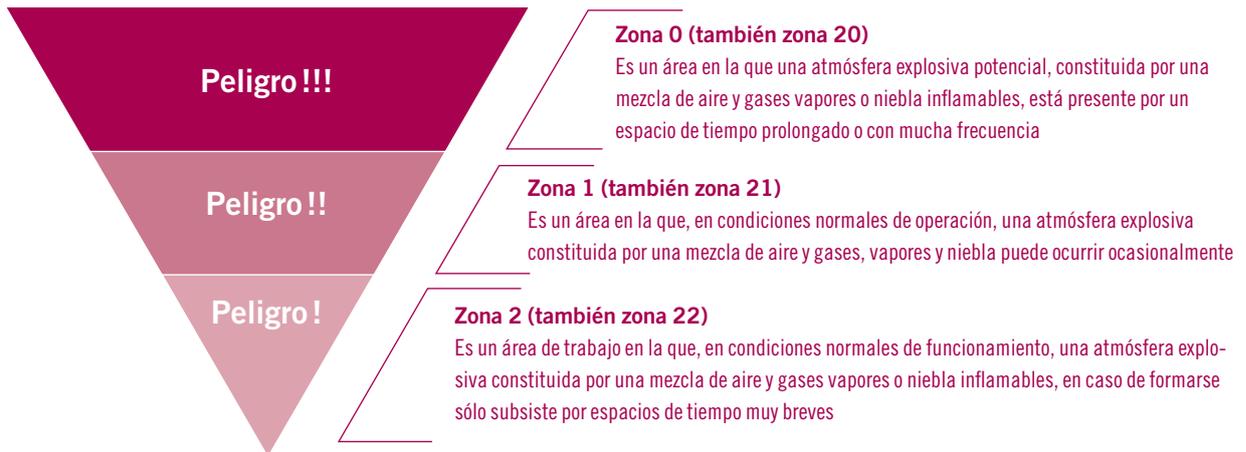
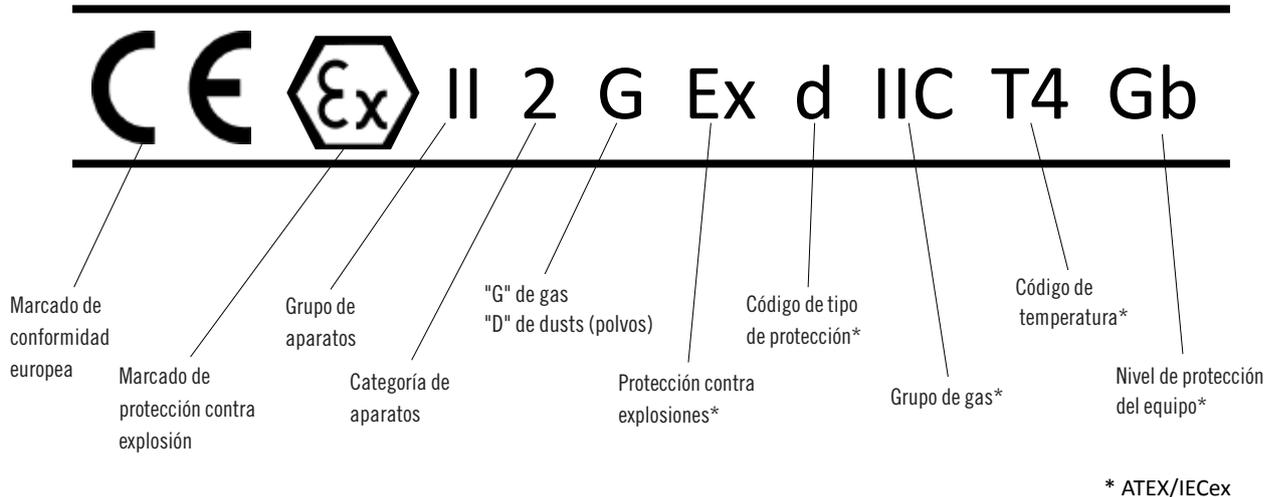


Figura 9: Descripción de una etiqueta ATEX



**Información adicional**

Las Directrices ATEX pueden consultarse en el sitio web de Derecho de la Unión Europea y están disponibles en inglés, español, francés y portugués.

## 5.6. Requisitos de los equipos de trabajo en áreas peligrosas

A fin de que los equipos de trabajo puedan ser utilizados en áreas peligrosas (atmósferas potencialmente explosivas, APE), deben ser aprobados para su uso en la zona EX respectiva. La Directiva 2014/34/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (ATEX, 2014) (Directiva ATEX, en lo sucesivo denominada simplemente ATEX), se ha establecido como la base para el uso de aparatos y sistemas de protección en zonas EX (véase la Figura 9).

De conformidad con esta directiva, solamente los aparatos aprobados para la zona 0 y que presentan el correspondientemente marcado pueden ser utilizados en esta zona, es decir, solamente los aparatos y los sistemas de protección del grupo de aparatos II, categoría I G.

En la zona 1 solo está permitido utilizar los aparatos aprobados para la zona 0 o 1 y provistos del marcado correspondiente, es decir, los aparatos y sistemas de protección del grupo de aparatos II, categoría 1 G o 2 G.

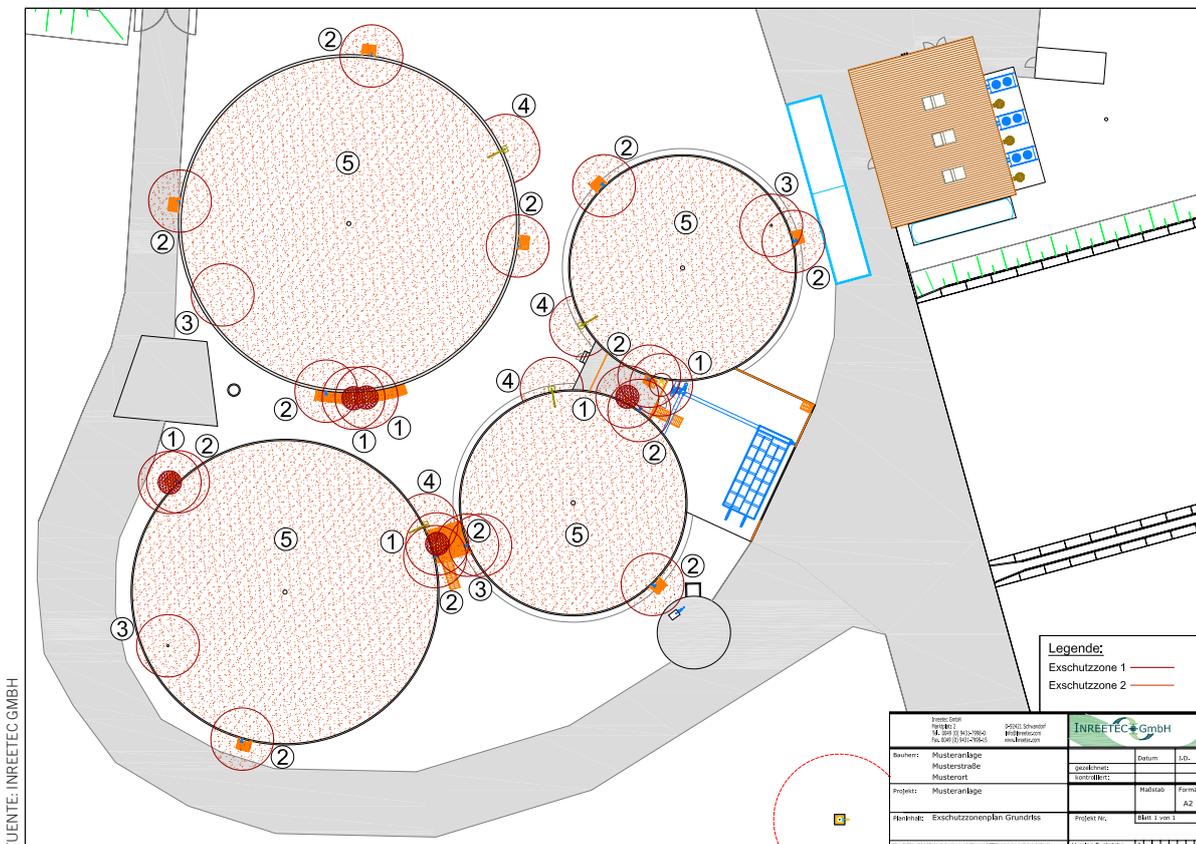
Finalmente, en la zona 2 solo está permitido utilizar los aparatos aprobados para la zona 0, 1 o 2 y provistos del marcado correspondiente, es decir, los aparatos y sistemas de protección del grupo de aparatos II, categorías 1 G, 2 G o 3 G.

Los detalles de la zonificación deben registrarse en un plano de zonas EX (véase la Figura 10). Dicho plano deberá revisarse periódicamente para garantizar que se corresponde con la situación actual y, de ser necesario, deberá adaptarse.



Figura 10: Ejemplo de un plano de zonas EX para una planta de biogás (rojo = zona 1, naranja = zona 2)

- ① Protección contra sobrepresión y subpresión
- ② Conducto de pared para mezclador sumergible
- ③ Boquilla de salida del tanque de almacenamiento de gas de membrana
- ④ Soplador del tanque de almacenamiento de gas de membrana
- ⑤ Espacio entre las membranas de almacenamiento de gas



FUENTE: INRETEC GMBH

# Requisitos generales

## 6. Plan de protección contra incendios

Las plantas de biogás presentan varias cargas de fuego dependiendo del diseño de la planta, su tamaño, el suministro de sustrato, los equipos operativos y de trabajo así como de los materiales utilizados. En el diseño y la planificación de la planta deben incluirse medidas estructurales, técnicas y organizativas de protección contra incendios. En particular, deben tenerse en cuenta las directrices nacionales relativas a la protección contra incendios.

### 6.1. Protección estructural contra incendios

Las siguientes medidas estructurales de protección contra incendios han demostrado su eficacia en la práctica:

- ▶ **Digestor:** Si es necesario aislamiento térmico para los digestores, debería utilizarse al menos material normalmente no inflamable. Dentro de un área de 1 m alrededor de las aberturas donde se libera gas durante el funcionamiento normal, el material deberá ser como mínimo poco inflamable.



Encontrará más información sobre los requisitos del aislamiento térmico para productos de construcción y elementos de edificación en la norma DIN EN 13501-1.

- ▶ **Salas de instalación de la unidad CHP e instalación en edificios externos a la planta:** Las paredes, soportes y techos situados por encima y por debajo de las salas de instalación deben ser al menos resistentes al fuego (p. ej. clase de resistencia al fuego F 90 en Alemania) y estar contruidos con materiales no inflamables. Para paredes, techos o soportes no se podrán utilizar revestimientos ni aislamientos de material inflamable. Las puertas colocadas en paredes resistentes al fuego deben ser al menos pirorretardantes y contar con mecanismo de autocierre; esto no será aplicable a las puertas que conducen al exterior. Las tuberías de ventilación y otros conductos o cables deberían estar tendidos solamente a través de paredes y techos si las tuberías, conductos o cables en sí mismos no pueden propagar fuego o si se han tomado precauciones para prevenir la propagación de fuego (p. ej. sistema de obturación de penetración de cables con autorización general de la autoridad competente en materia de obras de construcción, o cierres contraincendios adecuados para el fin previsto). Las líneas de extracción de gas (chimeneas) y las penetraciones asociadas deben cumplir los requisitos nacionales específicos correspondientes. Debe garantizarse suficiente distancia de separación con respecto a los materiales inflamables. Los espacios en las penetraciones deben rellenarse con materiales no inflamables y con propiedades de estabilidad dimensional. Esta condición se cumple si se utilizan

materiales adecuados que tengan la misma tasa de resistencia al fuego que los componentes que se obturan.

- ▶ **Instalaciones eléctricas:** Las instalaciones eléctricas deben cumplir las normas reconocidas (aplicables en cada país específico) y deben ser revisadas periódicamente por un electricista autorizado. El operador debería llevar a cabo regularmente controles visuales para detectar daños causados por roedores y signos de chamuscadura con el fin de minimizar el riesgo de que se inicie un incendio.
- ▶ **Distancias de seguridad:** El objetivo de las distancias de seguridad es reducir la influencia recíproca en caso de se produzca un daño, evitar la propagación de fuego y proteger el tanque de almacenamiento de gas. Para tal fin, es necesario disponer distancias de seguridad de al menos 6 m en sentido horizontal entre los tanques de almacenamiento de gas y las instalaciones, equipos y edificios adyacentes no relacionados con el biogás (con una altura inferior a 7,5 m) o las vías de transporte.
  - ▶ En caso de que haya un edificio con una altura superior a 7,5 m, o un sistema de almacenamiento de gas o edificación no pertenecientes a la planta, la fórmula para la distancia es:  $a = 0,4 \times H_1 + 3$  m.
  - ▶ En caso de que haya dos edificios con una altura superior a 7,5 m, sistemas de almacenamiento de gas o edificaciones no pertenecientes a la planta, la fórmula para la distancia es:  $a = 0,4 \times H_1 + 0,4 \times H_2$ .

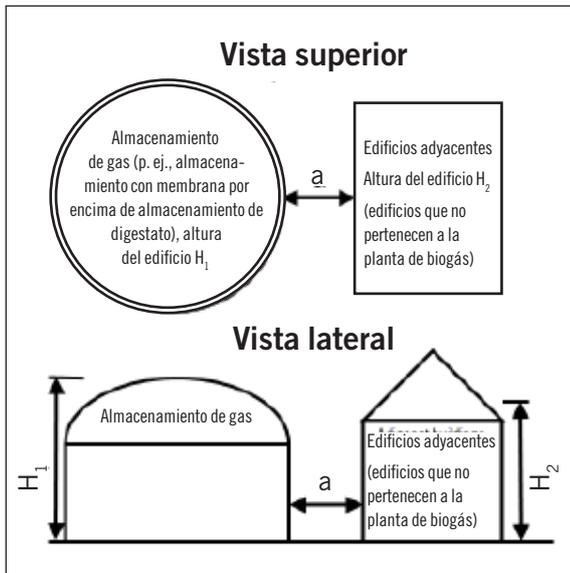
Deben mantenerse distancias de seguridad de al menos 6 m, dentro de una planta de biogás, entre el tanque de almacenamiento de gas y las salas de instalación para motores de combustión interna. En las instalaciones de superficie, la distancia de seguridad se mide a partir de la proyección vertical del borde del tanque de almacenamiento (véase la Figura 11).

Deben quedar descartadas las situaciones de peligro para las personas y el riesgo de incendio dentro o fuera de la planta de biogás mediante radiación o convección térmicas mediante la ubicación adecuada de la antorcha de emergencia. A este respecto, deben tenerse en cuenta los edificios, componentes de planta, vías de transporte y áreas públicas.

- ▶ **Pared de protección:** La distancia de seguridad puede reducirse si se opta por una cubierta de tierra en medida suficiente o una pared de protección con las dimensiones adecuadas o aislamiento antiincendios (p. ej. cortafuegos). Las puertas colocadas en las paredes de protección deben ser resistentes al fuego y contar con mecanismo de autocierre. Una pared de protección también puede ser una pared convencional con el diseño adecuado que

no presente aberturas. La altura y la anchura de la pared de protección deben satisfacer los requisitos de las directrices nacionales correspondientes.

**Figura 11: Distancia de seguridad entre los sistemas de almacenamiento de gas y los edificios adyacentes**



## 6.2. Protección contra incendios de carácter organizativo

Dentro de las distancias de seguridad no debería haber materiales combustibles almacenados en cantidades superiores a 200 kg sin haber adoptado medidas de protección adicionales, y no debería haber edificios que no formen parte de la planta de biogás ni carreteras públicas o caminos. Entre las medidas de protección adicionales cabría incluir medidas de prevención de incendios, medidas de protección contra incendios y medidas de extinción de incendios (véase, por ejemplo, la sección sobre paredes de protección). Asimismo, se aplican las siguientes condiciones:

- ▶ serán admisibles las vías de transporte esenciales para el funcionamiento de la planta;
- ▶ no se podrán estacionar vehículos dentro del área de distancia de seguridad;
- ▶ no se permitirá maquinaria ni actividades que puedan constituir una fuente de peligro para el tanque de almacenamiento de gas (p. ej. soldadura o cortes) sin medidas de protección adicionales;
- ▶ no se podrán operar antorchas de gas;
- ▶ estará prohibido hacer fuego, tener llamas abiertas y fumar.

Los empleados y empresas externas deberán recibir instrucción periódicamente, siempre y cuando sea pertinente, en relación con las medidas que se deben tomar en caso de fallos operativos, accidentes y emergencias y cómo prevenirlas.

Ha demostrado ser eficaz debatir y coordinar consideraciones relativas a la protección contra incendios en la planta con el cuerpo de bomberos local antes de la puesta en servicio y en intervalos regulares. Es esencial que antes de que se realice el despliegue táctico del cuerpo de bomberos en caso de incendio o para otras formas de asistencia técnica exista una coordinación estrecha con los jefes de las unidades locales de bomberos. Se recomienda realizar simulacros para garantizar que se actúa correctamente durante el despliegue. En caso de despliegue, el cuerpo de bomberos debería utilizar un equipo de protección personal adecuado, se debe preparar un detector de gas ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.), y prestar atención a la dirección del viento al aproximarse al sitio, debe mantenerse una distancia de seguridad, debe evitarse que se formen chispas de ignición (p. ej. conmutadores eléctricos), y se debe consultar al operador de la planta in situ.

En la medida de lo posible, durante la planificación de las estaciones de trabajo deben tomarse en consideración todas las rotulaciones de seguridad y protección de la salud necesarias (por ejemplo a la hora de concebir planes de evacuación y rescate). Asimismo, también es importante designar a personal de primeros auxilios. Los extintores, así como el suministro de agua para combatir el fuego, deberán ponerse a disposición de acuerdo con las cargas de fuego, según previa consulta al cuerpo de bomberos.

### CONSEJO

Los símbolos de rescate y de protección contra incendios actuales se especifican en la ISO 7010.



FUENTE: FOTOLIA\_OKTAY\_ORTAKCIOGLU

# Requisitos generales

## 7. Medidas de protección

Por lo que se refiere a la salud y la seguridad laboral, la norma general consiste en establecer medidas de protección de acuerdo con el principio TOP (véase la sección evaluación del peligro).

El operador de la planta deberá velar por que los equipos de trabajo se manipulen de forma segura y por que las plantas y los componentes de la planta se operen de forma segura con ayuda de medidas técnicas de protección. Las medidas técnicas de protección para componentes de planta específicos se explican en la segunda parte del presente documento.

### 7.1. Medidas de protección de carácter organizativo

#### Estructura organizativa

El operador debería diseñar y documentar la estructura organizativa de la planta de modo que todas las actividades y tareas puedan ser realizadas de forma segura y ser supervisadas en todo momento. Como mínimo, deberían acordarse los siguientes puntos:

- ▶ responsabilidades (p. ej. para comprobar el registro de operación, realizar sesión de instrucción/información y llevar a cabo la evaluación del peligro; el operador puede delegar tareas en un empleado);
- ▶ regímenes de suplencia;
- ▶ servicio de guardia: si la planta es operada por varias personas en turnos, debe garantizarse el traspaso de información en el cambio de turnos y cualquier circunstancia especial deberá documentarse por escrito (p. ej., en el informe diario de operaciones)
- ▶ si es necesario, otorgar facultades de dirección

#### Instrucciones operativas

Es de suma importancia que el fabricante de la planta lleve a cabo una reunión informativa exhaustiva (presentación de las instrucciones operativas) antes de la puesta en marcha y en caso de que se introduzcan modificaciones. El contenido cubierto deberá documentarse por escrito. Además, el personal operativo de la planta de biogás deberá asistir a cursos de capacitación y de formación continua, y los certificados deberán ser conservados. Si hay personal de empresas externas trabajando en la planta de biogás, deberá determinarse su aptitud profesional y, en caso necesario, verificarse. Debe utilizarse un formato informativo adecuado de modo que quede garantizado que el personal externo está al corriente de los peligros operativos.

#### Instrucción e información

El operador de la planta deberá instruir e informar sobre la manipulación segura de los equipos de trabajo y volverá a

hacerlo de nuevo en virtud de los resultados de la evaluación del peligro. Ejemplos de instrucción e información:

- ▶ Salud y seguridad laboral
- ▶ El trabajo en áreas donde hay peligro de explosión
- ▶ Instrucciones internas de la empresa
- ▶ Sustancias peligrosas presentes o que se generan en el lugar de trabajo
  - ▷ disposiciones sobre higiene en particular
  - ▷ información sobre medidas que deben adoptarse para prevenir la exposición
  - ▷ información sobre la necesidad de llevar y utilizar el equipo de protección personal y la ropa de protección

Antes de iniciar el trabajo/las actividades, se deberá impartir instrucción inicial a los empleados y, posteriormente, a intervalos regulares, al menos una vez al año. Deberá llevarse a cabo un registro por escrito de la instrucción.

Las tareas peligrosas deberán llevarse a cabo siguiendo las instrucciones escritas del empleador o la persona responsable; deberá recurrirse a un sistema de autorización para trabajar cuando sea necesario realizar actividades peligrosas o actividades que puedan volverse peligrosas en combinación con otras tareas. Ejemplos: trabajar dentro de los tanques y en espacios angostos, actividad que entrañe peligro de ignición (soldadura, soldadura por combustión, perforación, etc.), trabajar sobre el tejado, trabajar en áreas peligrosas.

Debe garantizarse una supervisión adecuada durante el tiempo en que haya empleados trabajando en áreas peligrosas. La Asociación Alemana de Biogás brinda un ejemplo de sistema de autorización para trabajar con el *Formulario de instrucción para subcontratistas y empleados y empleadas para las labores de mantenimiento, instalación y reparación* (véase el Anexo 2).

Los empleados deben recibir instrucción antes de comenzar a trabajar en o con un equipo nuevo, procedimientos nuevos/modificados, sustancias peligrosas nuevas o responsabilidades nuevas.



Se deberá documentar lo siguiente:

- ▶ Contenido de las sesiones informativas
- ▶ Sesión informativa para personal externo
- ▶ Información e instrucción impartidas

## Requisitos para trabajo en solitario

Como parte de la evaluación del peligro es necesario examinar qué actividades pueden llevarse a cabo trabajando en solitario y documentarlas. Si en el marco de la evaluación del peligro se determina que una actividad particular no puede realizarse de esta forma, dicha actividad debe ser llevada a cabo siempre por al menos dos empleados. Por regla general, no pueden realizarse en solitario las actividades siguientes:

1. el trabajo dentro de los tanques y en espacios angostos (debe designarse una persona para hacer guardia por motivos de seguridad cuando se trabaja dentro de los tanques o en espacios angostos, si no hay puertas a través de las cuales el trabajador pueda salir);
2. el trabajo en áreas en las que pueden originarse peligros de explosión adicionales durante las labores de mantenimiento o reparación debido a las condiciones locales, el equipo instalado en esas áreas o las sustancias, preparados o impurezas contenidos en ellas o introducidos en ellas (TRBS 1112-1, 2010).

En los casos en que esté permitido trabajar aislado, se deberán establecer medidas de protección de carácter técnico y organizativo adecuadas que puedan garantizar la prestación de primeros auxilios eficaces si surge la necesidad. Entre los ejemplos de medidas de protección adecuadas se incluyen las siguientes:

- ▶ cámaras de vigilancia con supervisión permanente de personal,
- ▶ uso de un dispositivo personal de señalización de emergencia con funciones automáticas de alarma,
- ▶ intervalos de comunicación con contacto visual o por voz,
- ▶ trabajar dentro de un campo visual,
- ▶ supervisión mediante visitas de inspección,
- ▶ provisión de un teléfono fijo/teléfono móvil para efectuar llamadas de emergencia.

Si estas medidas de protección pudieran constituir en sí mismas o incluir fuentes de ignición, deberá analizarse su idoneidad antes de ser utilizadas en áreas peligrosas (TRGS 529, 2016).

Las medidas de protección de carácter organizativo abarcan asimismo el mantenimiento regular de la planta, los sistemas y componentes. A fin de poder garantizar un funcionamiento seguro, resulta esencial diseñar un plan de mantenimiento con detalles específicos de los componentes de la planta que deben ser objeto de mantenimiento y especificar intervalos de ejecución de los mismos. El mantenimiento incluye también una prueba funcional de los diferentes componentes y completar las comprobantes relevantes.

## Labores de mantenimiento con medidas de protección en un digestor.



# Requisitos generales

## 7.2. Medidas de protección personal



Además de las medidas de protección de carácter técnico y organizativo, deben planificarse también medidas de protección personal para determinados aspectos del funcionamiento de la planta. La elección de las medidas a utilizar depende de la evaluación del peligro (véase la Tabla 5).

**Tabla 5: Peligros y posibles medidas de protección**

Peligros	Ejemplos	Equipo de protección personal
Sustancias peligrosas (transportadas por el aire)	Microorganismos Aerosoles Biogás (sus constituyentes) Aditivos y materiales auxiliares	<p>Protección para ojos y cara si cabe esperar que se produzca una pulverización o rociado de materiales o líquidos infecciosos y las medidas técnicas no brindan una protección adecuada.</p> <p>Las tareas para las cuales se utilice protección respiratoria deben tenerse en cuenta expresamente en la evaluación del peligro.</p> <p>La protección respiratoria adecuada debe satisfacer como mínimo los siguientes requisitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Media máscara con filtro de partículas de clase P2 según DIN EN 143 o media máscara con filtro de partículas FFP2 según DIN EN 149.</li> <li>▶ Las medias máscaras de filtrado con válvula de exhalación son la elección preferente.</li> </ul> <p>Si se libera biogás, deben utilizarse siempre equipos de respiración autónomos de circuito cerrado debido a la posibilidad de altas concentraciones de H<sub>2</sub>S y de desplazamiento del oxígeno.</p>
Sustancias peligrosas (contacto cutáneo)	Hongos Bacterias Virus Endotoxinas Aditivos y materiales auxiliares	<p>Guantes para trabajos pesados, impermeables y bajos en alérgenos, asimismo con puños ampliados para prevenir la contaminación de líquidos con patógenos que se introduzcan en los guantes. Los guantes deben ser resistentes a los desinfectantes que se utilicen.</p> <p>Protección para ojos y cara si cabe esperar que se produzca una pulverización o rociado de materiales o líquidos infecciosos y las medidas técnicas no brindan una protección adecuada.</p> <p>Delantales y calzado herméticos al agua si cabe la posibilidad de éstos queden empapados.</p>
Peligros mecánicos	Descarga estática Cables defectuosos	Deberá proporcionarse calzado de seguridad que cumpla al menos los requisitos de la clase de protección S2 y botas de seguridad que cumplan al menos los requisitos de la clase de protección S4 según DIN EN ISO 20345.
Peligros mecánicos	Caídas, tropiezos, contusiones, cortes	Deberá proporcionarse calzado de seguridad que cumpla al menos los requisitos de la clase de protección S2 y botas de seguridad que cumplan al menos los requisitos de la clase de protección S4 conforme a DIN EN ISO 20345, así como ropa impermeable según las necesidades (TRGS 727, 2016).
Peligro de incendio y explosión	El personal puede cargarse de electricidad estática, por ejemplo, al caminar, al levantarse de una silla, al cambiarse de ropa, al manipular plásticos, al realizar tareas que impliquen vertido o llenado, o mediante inducción al permanecer de pie cerca de objetos cargados. Una persona cargada de electricidad estática que toque un objeto conductor, p. ej. la manilla de la puerta, genera descarga de chispas.	<p>En áreas peligrosas clasificadas como zona 0, 1 o 20, debe utilizarse calzado conductor con protección diferencial inferior a 10<sup>8</sup> Ω.</p> <p>El mismo requisito se aplica a la zona 21 en caso de polvos con una energía mínima de ignición (EMI) ≤ 10 mJ.</p> <p>La ropa de trabajo o la ropa de protección no debe cambiarse, quitarse o ponerse en áreas peligrosas clasificadas como zona 0 o 1.</p> <p>El equipo de protección personal no debe poder llegar a cargarse en áreas peligrosas o en presencia de mezclas de gas explosivas, por ejemplo durante las labores de mantenimiento o en situaciones de emergencia. (TRGS 727, 2016)</p>

# Requisitos generales

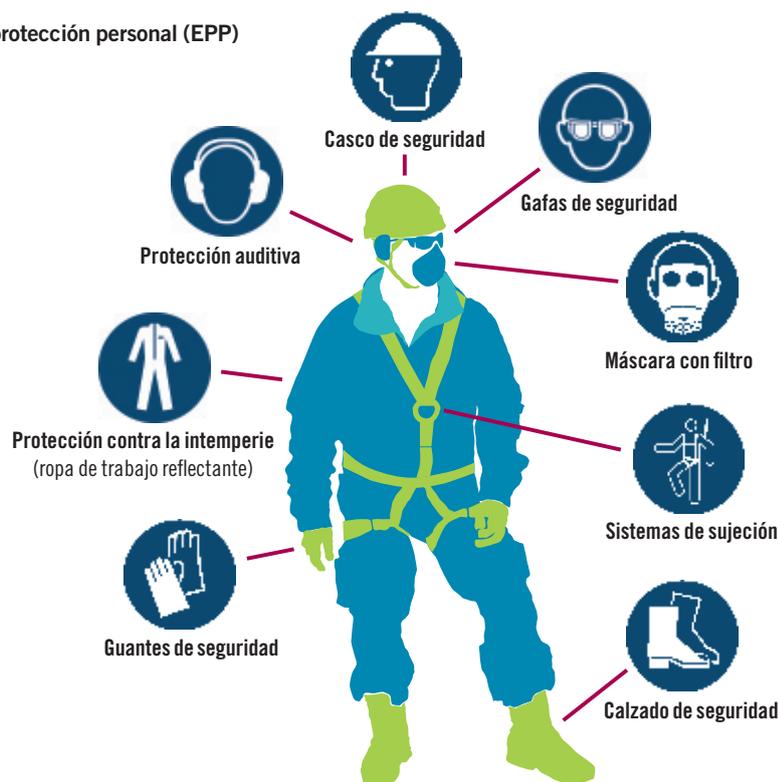
Deben garantizarse medidas de higiene básicas. Entre estas se incluyen lavarse las manos antes de los descansos y tras finalizar el trabajo, así como limpiar el lugar de trabajo de forma regular y cuando resulte necesario y cambiar/lavar la ropa de trabajo y el equipo de protección personal. Las medidas pueden recogerse en un plan de limpieza e higiene. Los empleados deberán abstenerse de comer o beber en los lugares de trabajo donde exista riesgo de contaminación por agentes biológicos. Si la evaluación del peligro insta a adoptar medidas de desinfección, estas deberán llevarse a cabo con desinfectantes probados.

- ▶ No se permitirá la entrada a las áreas de descanso o las salas para el personal a ninguna persona que lleve ropa de trabajo contaminada con agentes microbiológicos.
- ▶ Los residuos que contengan agentes biológicos deberán ser recogidos en contenedores adecuados.
- ▶ La ropa de trabajo y el equipo de protección personal deberían mantenerse separados de la ropa de uso privado.

- ▶ La ropa contaminada con agentes microbiológicos no deberá ser lavada en casa.
- ▶ Si acceden al área de trabajo plagas como roedores, palomas, insectos u otros animales, será de suma importancia realizar un control regular de plagas.
- ▶ Deberán evitarse las condiciones de almacenamiento que favorezcan la multiplicación de agentes biológicos, en la medida en que el funcionamiento de la planta lo permita.
- ▶ Deberá proporcionarse una ventilación adecuada del área de trabajo de acuerdo con la evaluación del peligro.

En la Figura 12 se muestra una sinopsis de los diferentes elementos que componen el equipo de protección personal. Cabe señalar que no todos los elementos deben ser utilizados en cada caso. Por ejemplo, la necesidad de llevar casco o arnés depende de la situación.

Figura 12: Equipo de protección personal (EPP)



Se puede consultar información más detallada sobre los requisitos técnicos que debe cumplir el equipo de protección personal en las siguientes normas:

DIN EN 143: Equipos de protección respiratoria - Filtros contra partículas - Requisitos, ensayos, marcado

DIN EN 149: Dispositivos de protección respiratoria - Medias máscaras filtrantes de protección contra partículas

DIN EN ISO 20345: Calzado de seguridad

# Requisitos generales

## 8. Documentación

Deben documentarse los siguientes elementos, de conformidad con los requisitos nacionales:

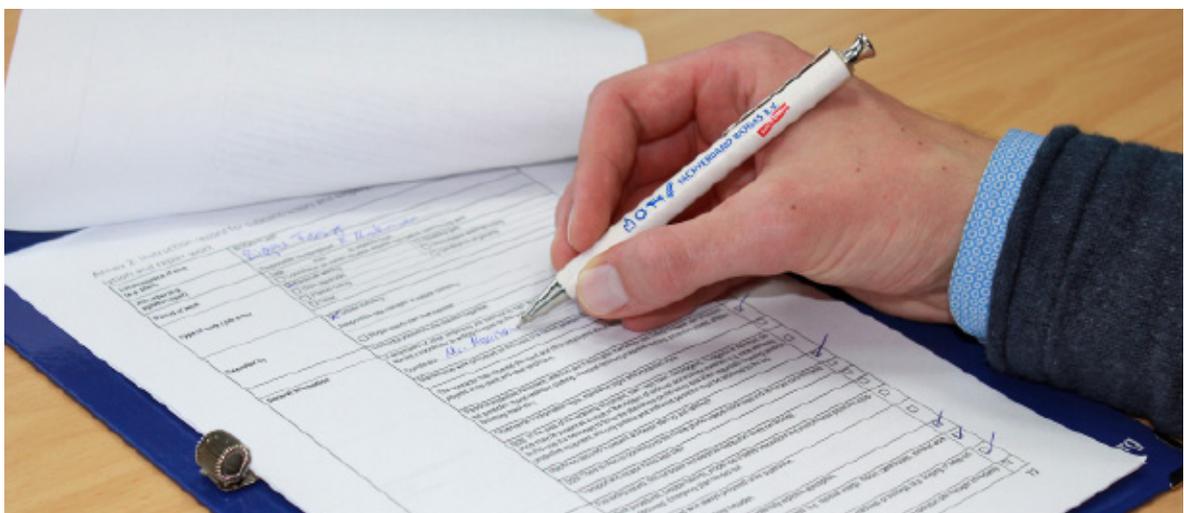
- ▶ Responsabilidades/facultades de dirección: lista de números de teléfono de personas a contactar (tanto internas como externas, p. ej. autoridades, agencias).
- ▶ Plan de emergencia (instrucciones operativas para procedimientos en caso de accidente, incendio, explosión, liberación de sustrato, corte de corriente, evitar el acceso de personas no autorizadas, etc.)
- ▶ Evaluación del peligro/documento de protección contra explosiones
- ▶ Instrucciones operativas para los empleados
- ▶ Manuales de instrucciones del fabricante
- ▶ Registro de sustancias peligrosas
- ▶ Fichas de datos de seguridad
- ▶ Formularios de divulgación/información
- ▶ Plan de mantenimiento y reparación (incluido un programa de acuerdo con las instrucciones del fabricante)
- ▶ Visitas de inspección regulares y diario de operaciones
- ▶ Documentos que acreditan la ejecución de pruebas periódicas (pruebas eléctricas, pruebas del equipo de trabajo)
- ▶ Documentos que acreditan la realización de cursos de formación inicial y formación periódica
- ▶ Planos del actual inventario de instalaciones y equipos (plano de planta para extinción de incendios, diagrama de tuberías e instrumentación, plan de trazado de tuberías, etc.)
- ▶ Matriz de gestión de procesos
- ▶ Certificado de protección contra incendios

### CONSEJO

Resulta especialmente aconsejable firmar contratos de mantenimiento con empresas especialistas para partes de la planta que son relevantes en términos de seguridad y que necesitan ser calibradas periódicamente (p. ej. sistema de advertencia de presencia de gas, analizador de gas, monitor de protección personal, detector de incendios).

Por norma general, el operador de la planta será responsable de mantener una documentación apropiada, es decir, de asegurar que la documentación está completa y actualizada, tiene la calidad adecuada y cumple las disposiciones legales respectivas en el país en cuestión. En casos específicos, debería aclararse con cuáles consecuencias se debería responder bajo la ley de responsabilidad sobre el producto en caso de infracción de la ley aplicable.

La documentación deberá ser fácilmente accesible en todo momento; deberá guardarse en la planta de biogás. Deberá conservarse una copia de seguridad de los documentos en lugares alternativos. Esto es particularmente importante en emergencias o en caso de fallos. En tales casos, el operador deberá adoptar los ajustes necesarios para reaccionar ante las desviaciones del funcionamiento normal con el fin de garantizar que la planta retorne al funcionamiento normal lo más rápido posible o para minimizar el alcance del trastorno.



Las plantas de biogás son sistemas de ingeniería de procesos complejos. Para transportar sustrato y producir gas se requiere toda una variedad de bombas, compresores, agitadores, transportadores sin fin y tuberías. Debe poder garantizarse un funcionamiento seguro de todas esas piezas y componentes de la planta en todo momento. Además, el operador debe proporcionar los equipos, los dispositivos y los materiales de trabajo en la cantidad necesaria, y todo ello en buen estado. Para tal fin, las diferentes piezas y equipos deben satisfacer numerosos requisitos en relación con las medidas de protección que se deben adoptar. Existen determinados requisitos generales en términos de estabilidad, amortiguación de las vibraciones, operabilidad, sabotaje y vandalismo que se aplican a todas las piezas de las plantas:

- ▶ **Estabilidad:** Los componentes de las plantas de biogás instalados en exteriores por encima del nivel del suelo deben ser montados sobre una base sólida y estar protegidos frente a daños. Deben estar instalados de forma que resulten fácilmente accesibles. Debe quedar garantizada una estabilidad estructural suficiente.
- ▶ **Amortiguación de las vibraciones:** Para piezas móviles y piezas sujetas a vibraciones dentro de la planta de biogás (componentes de la unidad CHP, sopladores, bombas, compresores, etc.) deben disponerse, por ejemplo, compensadores y amortiguadores de las vibraciones.

- ▶ **Operabilidad de componentes vitales de la planta en diferentes condiciones meteorológicas:** Las piezas, componentes y equipos de la planta de biogás relevantes para un funcionamiento seguro deben diseñarse de manera que continúen siendo operables en todo momento en las temperaturas ambiente previstas y en las condiciones meteorológicas esperadas.
- ▶ **Sabotaje/vandalismo:** Los elementos y controles relevantes para el sistema y para la seguridad deben estar protegidos contra sabotaje y vandalismo. Se puede utilizar un equipo con cerradura para garantizar que esto efectivamente sea así, o se puede levantar una valla alrededor de la planta de biogás en la forma conveniente.

Los requisitos específicos para el funcionamiento seguro de los diferentes componentes de la planta se describen en la sección siguiente. Cada descripción se divide en tres partes:



## Medidas de protección de carácter técnico



## Medidas de protección de carácter organizativo



## Clasificación de zonas EX

(Zonificación de acuerdo con el peligro de explosión potencial)

## 1. Requisitos para los sistemas de alimentación



### Medidas de protección de carácter técnico

A la hora de elegir y diseñar los sistemas de alimentación es de suma importancia prestar atención a si los materiales utilizados están sujetos a condiciones de estrés o exposición especiales (p. ej. ácidos, arena, etc.). Se recomienda encarecidamente el uso de acero inoxidable o de revestimientos en áreas especialmente sensibles. Dependiendo de las condiciones climáticas locales, los componentes de la planta para los que existe riesgo de congelación deben concebirse de manera que sean resistentes a las heladas. Los accionamientos mecánicos deben proveerse de cubiertas protectoras. Deberán disponerse separadores para eliminar las sustancias interferentes cuando sea necesario. Las aberturas a través de las cuales tiene lugar la alimentación, p. ej. los equipos de alimentación de sólidos, deberán protegerse para prevenir la caída de personas dentro de las mismas. Entre las posibles medidas se incluyen:

- ▶ tolvas de carga cubiertas con una altura de > 1,30 m en combinación con una cubierta

- ▶ tolvas de carga sin cubierta con una altura de  $\geq 1,80$  m
- ▶ rejillas fijas con un espacio de malla  $\leq 20$  cm
- ▶ trampillas con mecanismo de autocierre en las aberturas verticales
- ▶ canales de lavado en los que las aberturas verticales están cubiertas

Si el digestor se llena mediante un tornillo compactador, considerando todos los estados operativos deberá estar lo suficientemente sumergido como para evitar un posible escape de gas. La inmersión deberá equivaler al menos a cinco veces la presión de respuesta del dispositivo de protección contra sobrepresión. Si es imposible impedir la formación de gases peligrosos fuera del sistema de alimentación ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ , etc.), será necesario prevenir o reducir su liberación, por ejemplo, haciendo uso de un equipo de llenado adecuado en un sistema cerrado o mediante la separación física de otras áreas de la planta. Hay que tener en cuenta la dirección predominante del viento a la hora de colocar las aberturas de llenado para que

# Requisitos específicos

los gases sean alejados del área operativa por el viento. Si los sistemas de alimentación están instalados dentro de los edificios, éstos deberán ser equipados con sistema de supervisión del aire ambiente y de ventilación. Los sustratos líquidos deberán alimentarse mediante mangueras/tuberías de modo que no puedan producirse fugas de gas dentro del edificio. Los sistemas de ventilación en dirección al procedentes del tanque de retención deberán tener salida en un área segura a través de una línea cerrada.



## Medidas de protección de carácter organizativo

El principio general establece que la formación de gases peligrosos fuera del sistema de alimentación debe evitarse en la medida de lo posible, o al menos minimizarse, por ejemplo, impidiendo que determinadas reacciones químicas tengan lugar (llenado en diferentes ocasiones). Debe evitarse la mezcla de sustancias fuera de tanques cerrados a partir de la cual se pueden formar gases peligrosos como sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono o amoníaco como resultado de reacciones químicas (por ejemplo, reacciones ácido-base). Si se esperan reacciones como resultado de mezclar material de alimentación antes de su introducción en el digestor, deberán llevarse a cabo pruebas de reacción con cantidades inocuas de las sustancias antes de proceder al mezclado.

A fin de poder evaluar este tipo de reacciones, los operadores de las plantas de biogás deberán obtener los siguientes datos de los productores del sustrato y dejar constancia de los mismos en el diario de operaciones:



### Documentación de datos del sustrato

- ▶ *main constituents, chemical composition, pH value and admixtures, e.g. stabilisers, preserving agents, etc.*
- ▶ *details of origin (e.g. from a slaughterhouse, from principal constituents, composición química, valor de pH y mezclas, p. ej. estabilizadores, conservantes, etc.);*
- ▶ *datos del origen (p. ej. procedentes de un matadero, de la producción de heparina en la industria farmacéutica, etc.);*
- ▶ *condiciones de transporte y entrega (p. ej. duración del transporte, temperatura, etc.);*
- ▶ *peligros potenciales (p. ej. "puede liberar sulfuro de hidrógeno tras la adición de ácidos"). Si es imposible descartar la formación de gases peligrosos, especialmente  $H_2S$ , es necesario prevenir o reducir su liberación, por ejemplo, mediante un sistema de llenado cerrado, separación espacial o eliminación forzada de los gases;*
- ▶ *otros comentarios.*



FUENTE: MT ENERGIE

Sistema de alimentación

Entre los materiales con un elevado contenido de azufre se incluyen residuos de mataderos, residuos de biomasa (micelio) generados a partir de procesos biotecnológicos, tortas de colza, restos de alimento para animales (p. ej. proteína de soja), metionina procedente de alimento para animales (aditivo alimentario), residuos de la producción de levadura, sulfato sódico como conservante, adyuvantes como sulfato de hierro o residuos de cocina.

Los alimentadores podrían requerir ir equipados con una plataforma de control para garantizar un control seguro de la manguera de llenado o descarga. Deberá prestarse atención a los peligros derivados del gas en la proximidad inmediata del alimentador. Si no se puede impedir que se generen gases en concentraciones peligrosas en las áreas de alimentación, deberá instalarse un equipo de advertencia de presencia de gas adecuado para garantizar que se advierte de los peligros derivados del gas, en particular del  $H_2S$ .

Durante el desarrollo de su actividad en los alimentadores, los empleados podrían estar expuestos a agentes biológicos mediante contacto con sustratos, productos de fermentación o condensado o con impurezas en las tuberías y las piezas de la planta portadoras de gas. El número de empleados que están o podrían estar expuestos a agentes biológicos deberá limitarse a aquellos que realmente necesitan realizar la tarea que tienen entre manos. Antes de llevar a cabo el trabajo en el área peligrosa de los sistemas de alimentación, debe comprobarse si está permitido realizar ese trabajo en solitario. En particular, es importante asegurarse de evitar que los sistemas de alimentación puedan ponerse en marcha automáticamente durante las labores de mantenimiento.

Durante el proceso de llenado, a menudo se añaden oligoelementos (p. ej. níquel, selenio) al material de alimentación. Por regla general, el uso de oligoelementos debería restringirse al mínimo necesario. Si es inevitable el uso de aditivos y materiales auxiliares, deberán elegirse clases de cero emisiones o con bajo nivel de emisiones (p. ej. productos granulados o recubiertos en lugar de productos en polvo), y este hecho deberá documentarse. Deberán adop-

tarse las medidas adecuadas para evitar que los aditivos y materiales auxiliares se manipulen en un entorno no cerrado. Deberá evitarse la exposición de los empleados a los aditivos y materiales auxiliares, o al menos reducirse al mínimo posible, mediante la aplicación de medidas de carácter técnico y organizativo.

Los siguientes tipos de trabajos con aditivos y materiales auxiliares conllevan una mayor probabilidad de que se origine una situación peligrosa:

1. inspección visual del embalaje para detectar daños, control de recepción;
2. descarga del vehículo de transporte, transporte dentro de la planta, colocación en el almacén;
3. salida del almacén, preparación para el uso,
4. eliminación de impurezas;
5. realización de labores de mantenimiento, p. ej. en el sistema de medición;
6. eliminación o devolución del embalaje



## Clasificación de zonas EX

Si se utiliza un sistema transportador sin fin tubular para la alimentación de sustrato por debajo de la superficie del líquido en el digestor, deberán cumplirse los siguientes requisitos:

- ▶ limitación de la tasa de flujo de eliminación y comprobación diaria del nivel de llenado, o
- ▶ si el nivel de llenado cae por debajo del límite inferior, se activa automáticamente una alarma y se desconecta la eliminación, de modo que el sistema se mantiene seguro por debajo del nivel del líquido.

**No será necesaria la zonificación**, a no ser que en las instrucciones del fabricante se especifiquen diferentes zonas de clasificación.

En el caso de sistemas de alimentación líquida (ensilaje diluido con material de alimentación líquido para hacerlo bombeable), no se puede descartar la posibilidad de que se forme una atmósfera potencialmente explosiva peligrosa. Serán necesarias medidas de protección contra explosiones adicionales (ventilación, supervisión de la concentración de  $\text{CH}_4$ , etc.) en las proximidades de los sistemas de alimentación.

## 2. Requisitos de los sistemas de tratamiento de sustrato

En función de las necesidades de la ingeniería de procesos, se podrán utilizar los métodos de tratamiento de sustrato siguientes:

- ▶ sistemas mecánicos
- ▶ sistemas químicos
- ▶ sistemas biotecnológicos



### Medidas de protección de carácter técnico

Si se utilizan piezas rotatorias, deben diseñarse de manera que, mediante medidas técnicas (p. ej. una cubierta protectora), se evite que las personas puedan acceder a ellas, ser arrastradas o caer dentro de las mismas.



### Medidas de protección de carácter organizativo

Dondequiera que se haga uso de sistemas mecánicos, deberán tenerse en cuenta los peligros causados por piezas móviles o proyectadas y por el riesgo de caer dentro de las mismas, especialmente durante las labores de mantenimiento. En los casos en que se utilicen sistemas químicos, por ejemplo aditivos y materiales auxiliares, deberán observarse las fichas de seguridad relevantes de los fabricantes y distribuidores. Cuando se utilicen sustancias que puedan suponer un riesgo para la salud (p. ej. oligoelementos), debe velarse por que se almacenen y midan dentro de sistemas cerrados con el fin de minimizar las emisiones.



## Clasificación de zonas EX

→ Véase la clasificación de zona EX para tanques de retención/pozos preliminares (sección 3)



Tanque preliminar

# Requisitos específicos

## 3. Requisitos de los tanques de retención/pozos preliminares



### Medidas de protección de carácter técnico

Los tanques de retención/pozos preliminares para sustratos dentro de los edificios deberán estar equipados con una unidad de extracción adecuada (p. ej. con protección frente a explosiones) con al menos cinco cambios de aire por hora y supervisión del caudal con alarma si se produjera un fallo.



### Medidas de protección de carácter organizativo

Los sistemas de extracción de gases deberán activarse automáticamente durante el proceso de llenado. Las aperturas en los tanques de recepción deberán permanecer cerradas excepto durante el proceso de llenado.



Deberá comprobarse que la unidad de extracción funciona correctamente antes de la puesta en servicio, y los resultados deberán documentarse.



### Clasificación de zonas EX

#### ▶ Tanques de retención/pozos preliminares:

Pozo o tanque, abierto o cerrado, para la recepción, almacenamiento intermedio y alimentación de sustrato, en algunos casos implicando la mezcla o recirculación de sustrato o digestato, con o sin calentamiento.

**No será necesaria la zonificación**, a no ser que en las instrucciones del fabricante se especifiquen diferentes zonas de clasificación.

#### ▶ Tanques de retención/pozos preliminares abiertos ubicados en el exterior:

Pozo o tanque para purines, abierto a lo largo de toda su sección transversal, con o sin cubierta flotante (sin calentamiento, sin recirculación de sustrato y sin recirculación de digestato), sin posibilidad de que se acumule gas.

**No será necesaria la zonificación**, a no ser que en las instrucciones del fabricante se especifiquen diferentes zonas de clasificación.

#### ▶ Tanques de retención/pozos preliminares cerrados ubicados en el exterior:

Pozo o tanque con una cubierta técnicamente hermética; incluso las fugas más insignificantes se detectan en una fase temprana gracias a controles regulares; desplazamiento del gas adecuado con respecto al sistema de gas con vistas a prevenir la sobrepresión y la subpresión de forma confiable; entrada de sustrato

sin fugas gracias a la carga por debajo de la superficie del mismo dentro del digestor. Entre los receptáculos cerrados de este tipo se incluyen también receptáculos con recirculación del sustrato, mezclado y calentamiento del sustrato.

**No será necesaria la zonificación**, a no ser que en las instrucciones del fabricante se especifiquen diferentes zonas de clasificación.

#### ▶ Interior de tanques de retención/pozos preliminares cerrados:

**Zona:** la misma que la zona con los requisitos más exigentes en el sistema de gas conectado.

#### ▶ Proximidades de los tanques de retención/pozos preliminares cerrados:

**No será necesaria la zonificación**, a no ser que en las instrucciones del fabricante se especifiquen diferentes zonas de clasificación.

#### ▶ Tanques de retención/pozos preliminares con cubierta, sin recirculación de sustrato y sin calentamiento en exteriores:

Receptáculo no técnicamente hermético, no conectado al sistema de gas. Presenta aberturas para el llenado.

**No será necesaria la zonificación**, a no ser que en las instrucciones del fabricante se especifiquen diferentes zonas de clasificación.

#### ▶ Tanques de retención/pozos preliminares para sustratos fácilmente degradables:

Entre los materiales de alimentación fácilmente degradables se incluyen los residuos orgánicos líquidos y de consistencia pastosa. La extracción supervisada proporciona una tasa de caudal adecuada (p. ej. al menos cambio de aire cinco veces el volumen de pozo del predigestor).

**Zona 2: interior.**

**Sin zona: exterior.**

#### ▶ Tanques de retención/pozos preliminares para purines con un nivel de llenado máximo por debajo del nivel del suelo:

Un área de apertura suficientemente amplia, p. ej. mediante cubiertas de rejilla; tasa de producción de gas muy baja como resultado de la baja temperatura.

**Zona 2: interior.**

**Sin zona: exterior.**

#### ▶ Área de apertura no suficientemente amplia:

El intercambio de aire solo tiene lugar durante los procesos de carga y vaciado. Producción de gas muy baja debido a la baja temperatura.

**Zona 1: interior.**

**Zona 2: en el área inmediata que rodea las aberturas**

## 4. Requisitos del digestor



### Medidas de protección de carácter técnico

El análisis estructural de contenedores de hormigón debe tener en cuenta el estrés térmico que se espera que se origine en función del aislamiento planeado y la temperatura del sustrato.

En las plantas en las que pueden producirse fugas por encima del nivel del suelo de los alrededores ha demostrado ser eficaz construir un muro circundante que retenga el volumen que podría liberarse en caso de fallos operativos hasta que hayan surtido efecto las precauciones de seguridad adecuadas, y que al menos contenga el volumen del tanque de mayor tamaño. Esto no es aplicable a instalaciones de almacenamiento para sustratos de digestión sólida. El muro circundante no tiene que estar completamente cerrado; también puede adoptar la forma de un muro de retención parcial si garantiza en medida suficiente la retención del material fugado. La base dentro del muro circundante podrá estar constituida por suelo cohesivo o áreas pavimentadas, por ejemplo, hormigón y asfalto.

Las aberturas de acceso en el tanque deberán tener un diámetro interior de al menos DN 800 (de conformidad con ISO 6708) o presentar unas dimensiones mínimas de 600 x 800 mm. Si es necesario acceder al tanque para realizar tareas de mantenimiento o reparación, debe ser posible proporcionar una ventilación adecuada; estas mismas medidas de seguridad son necesarias para acceder a las cámaras de inspección. Estas aberturas deben ser tenidas en cuenta en relación con el concepto estático del digestor.

Todos los tanques (incluidos los tanques de retención/pozos preliminares para predigestión) que retienen gas, sustrato o productos de digestión deben poder aislarse individualmente del resto del sistema y en todas las direcciones.

En el tanque de digestión y el digestor secundario un sistema de supervisión del llenado debe asegurar que no se sobrepasa el nivel de llenado. Por ejemplo, mediante una tubería ascendente que alimente los sustratos digeridos al depósito de estiércol líquido (reboamiento) con protección contra heladas o un dispositivo de protección contra sobrellenado adecuado que limite el nivel máximo de llenado de los tanques.

Se debe prestar especial atención al funcionamiento de los tanques con grandes fluctuaciones en el nivel de llenado, como por ejemplo los digestores secundarios o los tanques de almacenamiento final herméticos al gas, por ejemplo, por lo que se refiere a la protección contra explosiones.



Interior de un digestor antes de la puesta en marcha

FUENTE: SCHWACK



Un accidente en una planta de biogás

FUENTE: JÜRGEN WINDMEIER



### Medidas de protección de carácter organizativo

Las partes visibles del tanque deberán revisarse regularmente para detectar fugas, al igual que la hermeticidad de los visores. Para obtener más información, consulte la sección sobre inspecciones y pruebas.

Los agitadores de motor sumergible y las bombas de motor sumergible deben estar siempre sumergidos durante su funcionamiento. Esto deberá garantizarse mediante las instrucciones de uso adecuadas.



### Clasificación de zonas EX

#### Interior del digestor

El tanque se llena constantemente con gas y se opera con presión positiva. Si la presión cae, existe el riesgo de que el oxígeno atmosférico se introduzca en el interior. Para evitar que el oxígeno se introduzca en el interior se aplica lo siguiente:

# Requisitos específicos

- ▶ Asegurar la producción de gas, p. ej. mediante la entrada regular de sustrato
- ▶ Garantizar que la cámara es hermética a las fugas y estable
- ▶ Supervisar el nivel de llenado de sustrato y, si es necesario, cortar la extracción de la fase líquida (punto de aislamiento del gas)
- ▶ Garantizar el funcionamiento con presión positiva, incluso en caso de una caída repentina de la temperatura, p. ej. mediante
  - i. desplazamiento del gas adecuado con respecto al tanque o a los tanques de almacenamiento de gas;
  - ii. supervisión constante de la sobrepresión del gas en el interior y extracción del gas;
  - iii. volumen lo suficientemente variable del tanque de almacenamiento de gas
- ▶ Además, en los casos en que se utilicen tejados inflables de doble capa: garantizar que la presión de apoyo del aire es inferior a la presión del tanque de almacenamiento de gas, y asegurarse de que la membrana interior es hermética y estable.

**No será necesaria la zonificación**, a no ser que en las instrucciones del fabricante se especifiquen diferentes zonas de clasificación.

En caso de que se apliquen los requisitos anteriormente mencionados sin que se hayan implementado todas las medidas para supervisar y proteger la presión positiva del gas, se aplicarán las condiciones siguientes:

- ▶ Se habrá identificado la ocurrencia de atmósferas potencialmente explosivas, y se habrán adoptado las medidas para garantizar que este tipo de atmósferas se forman solo en contadas ocasiones y por espacios de tiempo breves.  
**Zona 2:** por encima de la superficie del sustrato en el interior

Los trastornos o estados de funcionamiento relacionados con el proceso previsible que se produzcan ocasionalmente pueden permitir la entrada de aire en el interior del digestor, dando lugar a concentraciones por debajo del LSE.

- ▶ La formación de atmósferas potencialmente explosivas es posible ocasionalmente.  
**Zona 1:** por encima de la superficie del sustrato en el interior

## **Agitadores y conductos para ejes del agitador y reguladores para agitadores, p. ej. mecanismos de cable**

Los agitadores de motor sumergible y las bombas de motor sumergible deberían cumplir el grado de protección IP 68 de conformidad con DIN EN 60529. Los requisitos que debe cumplir el material en relación con la corrosión, las

fuerzas de cizallamiento y la estabilidad térmica deberán tenerse en cuenta a la hora de seleccionar los agitadores.

- ▶ Conductos técnicamente herméticos, combinados con controles y labores de mantenimiento regulares, o penetración del agitador por debajo de la superficie del líquido/sustrato.

**No es necesaria la zonificación.**

- ▶ Conductos técnicamente estancos y por encima de la superficie del líquido/sustrato.

**Zona 2:** 1 m alrededor del área de penetración.

## **Dispositivo antidesborde**

- ▶ Dispositivo antidesborde con transportador sinfín.  
**Zona:** como en el caso de áreas con gas descendente.
- ▶ Dispositivo antidesborde para picos de presión con limitación física del aire inyectado (limitación del volumen y limitación de la tasa de caudal).  
**Zona 0:** en la tubería y en las proximidades del rebosamiento.
- ▶ Dispositivo antidesborde para picos de presión sin limitación física del aire inyectado.  
**Zona 0:** en la tubería y en el digestor.

## **Área circundante de los visores en espacios interiores**

- ▶ Los ojos de buey y las ventanas de observación deberán montarse en un bastidor hermético en el digestor y deberán ser técnicamente herméticos de forma permanente de conformidad con la declaración del fabricante.  
**Sin zona.**
- ▶ Visores técnicamente herméticos, controles de fugas rutinarios de conformidad con las instrucciones del fabricante.  
**Sin zona.**
- ▶ Visores técnicamente herméticos, pero sin controles de fugas rutinarios.  
**Zona 1:** el entorno inmediato.  
**Zona 2:** el área restante.

## **Almacenamiento de digestato con conexión al sistema de gas**

Se deberá evitar la entrada de aire en el sistema de gas aplicando lo siguiente:

- ▶ Garantizar el funcionamiento con presión positiva, incluso durante la eliminación del digestato, p. ej. mediante la supervisión constante de la sobrepresión del gas en el interior y el aislamiento de las tuberías de extracción de gas y los puntos de extracción de la fase líquida;
- ▶ Eliminación del digestato planificada y supervisada, especialmente mediante
  - ▷ el aseguramiento del abastecimiento de gas,
  - ▷ la inspección visual de las membranas de caucho de monómero de etileno propileno dieno (EPDM)

o supervisión del nivel de gas de los sistemas de doble membrana o los tanques de almacenamiento de gas rígidos,

- ▶ reducción del rendimiento de la unidad CHP,
- ▶ la interrupción de la eliminación del digestato en el nivel mínimo de llenado de gas;
- ▶ Garantizar la hermeticidad técnica con ayuda de controles iniciales y periódicos, p. ej. mediante localización con una cámara de detección de gas y la

comprobación con agentes espumantes o un detector de gas adecuado;

- ▶ En el caso de tejados flotantes véase la sección sobre tanques de almacenamiento de gas.  
En el interior, **la misma zona** que para el sistema de gas.

Dado que en este caso no está garantizado un funcionamiento con presión positiva durante la eliminación del digestato, será de aplicación **zona 1**: en el interior del tanque de almacenamiento y el interior del sistema de gas conectado.

## 5. Requisitos del tanque de almacenamiento de gas



### Medidas de protección de carácter técnico

Los sistemas de almacenamiento de gas deben ser herméticos, resistentes a la presión y al entorno, a la luz ultravioleta, a la temperatura y a las condiciones meteorológicas (temporal, nieve, etc.) de acuerdo con el fin previsto. Por lo que se refiere a las cargas de viento y nieve, en particular, es esencial que el fabricante realice un diseño específico para el lugar. Los sistemas de almacenamiento de gas deben ser conectados mediante el sistema de transporte de gas con dispositivo de protección contra sobrepresión y subpresión.

Los sistemas de almacenamiento de gas y su equipamiento deben protegerse frente a daños mecánicos. Con vistas a prevenir daños ocasionados por vehículos en áreas vulnerables, el sistema de almacenamiento de gas y su equipamiento deberá protegerse, por ejemplo, a través de defensas protectoras contra impactos por colisión, áreas no transitables y barreras o respetando la distancia de seguridad. Una de las formas de satisfacer este requisito es levantar una valla protectora alrededor del sistema de almacenamiento de gas. Si la valla está a una distancia de menos de 850 mm del sistema de almacenamiento de gas, dicha valla deberá impedir el contacto. La valla protectora debe actuar como barrera infranqueable, por ejemplo, realizada en malla de alambre, con una altura de al menos 1,50 m.

Especialmente en el caso de los sistemas de almacenamiento de gas construidos con membranas de plástico, deberán cumplirse los siguientes requisitos a la hora de seleccionar los materiales:

- ▶ Resistencia a la rotura min.  $\frac{500 \text{ N}}{5 \text{ cm}}$  o resistencia tensil  $\frac{250 \text{ N}}{5 \text{ cm}}$
- ▶ Permeabilidad con respecto al metano  $< \frac{1000 \text{ m}^3}{(\text{m}^2 \times \text{d} \times \text{bares})}$
- ▶ Estabilidad térmica para la aplicación específica (proceso de digestión mesofílico y termofílico)
- ▶ Antes de su puesta en servicio, se deberán someter los sistemas de almacenamientos de gas a pruebas de fugas



FUENTE: ADSOLUTIONS

Digestor de laguna en Costa Rica

Especialmente en las plantas de biogás que operen de acuerdo con el sistema de lagunas, el digestor de grandes dimensiones y las áreas de superficie de almacenamiento de gas plantean exigencias adicionales en materia de seguridad.

- ▶ Tanto para proteger el medio ambiente como por motivos de seguridad, el vínculo entre el sistema de almacenamiento de gas y el digestor de laguna deberían ser técnicamente herméticos. Sellar simplemente las membranas cubriéndolas de tierra en el suelo puede considerarse inadecuado. El inserto básico técnicamente hermético deberá ser complementado con medidas regulares de protección de carácter organizativo (comprobar si hay fugas en el digestor/sistema de gas mediante espumantes, detectores de gas y cámaras de infrarrojos).
- ▶ Las instalaciones de almacenamiento de gas conectadas a digestores de laguna presentan un área de superficie muy amplia y, por lo tanto, un riesgo potencialmente mayor de fugas (formación de bordes, fricción, desgarros,

# Requisitos específicos

etc.). Por consiguiente, se deberán controlar todas las superficies para detectar fugas en intervalos regulares (al menos anualmente). Las cámaras de infrarrojos son útiles en este sentido porque en ese caso no es necesaria la inspección directa de las membranas.

- ▶ Debido a las enormes dimensiones del área de superficie, existen peligros adicionales derivados de la exposición al viento y de que las membranas se arranquen. Así pues, el sistema de almacenamiento de gas debería montarse con protecciones adicionales para evitar que esto ocurra.



## Medidas de protección de carácter organizativo

La hermeticidad técnica del sistema de almacenamiento de gas deberá ser comprobada antes de la puesta en marcha, después de haber sido reparado y en intervalos adecuados.



*El funcionamiento correcto de los sistemas de almacenamiento de gas exige una documentación completa y controles regulares, además de labores de mantenimiento.*

Si deben llevarse a cabo medidas de mantenimiento y reparación en membranas de almacenamiento de gas de una capa o de doble capa, no estará permitido caminar sobre las mismas. Cualquier carga de este tipo (peso de una persona individual) solamente estará permitida si se ha demostrado que las membranas son estables para caminar sobre ellas y que se ha proporcionado una evaluación del peligro en relación con las actividades a realizar durante las labores de mantenimiento o reparación. En el marco de la evaluación del peligro, deberá hacerse especial hincapié en las medidas de protección contra caídas.



## Clasificación de zonas EX

### Sistema de aire de apoyo

El sistema de aire de apoyo incluye el intersticio, la entrada de aire de apoyo, la salida de aire de apoyo y el soplador de aire de apoyo.

- ▶ La salida de aire de apoyo es monitorizada por un sistema de advertencia de presencia de gas adecuado para advertir con una alarma sobre una fuga repentina de gas y, mediante un detector de gas adecuado, sobre un escape de gas gradual.

**Zona 2:** dentro del sistema de aire de apoyo y 3 m alrededor de las entradas y salidas de aire.

- ▶ La salida de aire de apoyo es monitorizada por un detector de gas adecuado para detectar un escape de gas gradual.

**Zona 1:** dentro del sistema de aire de apoyo.

**Zona 2:** 3 m alrededor de las entradas y salidas de aire.

- ▶ Es posible recurrir a un soplador (sin flujo transversal a través del intersticio, por lo tanto, formación ocasional de una concentración de biogás que se está difundiendo y liberación repentina cuando se levanta la membrana de gas o se detiene el soplador). La formación de concentraciones en determinados momentos se previene mediante la respiración como resultado de fluctuaciones de presión.

**Zona 0:** en el intersticio.

**Zona 1:** 3 m alrededor de las aberturas.

## Entorno exterior de los insertos de las membranas de almacenamiento de gas en exteriores

- ▶ El inserto será técnicamente hermético combinado con medidas adecuadas de carácter organizativo, y el inserto será controlado regularmente para verificar su hermeticidad técnica. La conexión por abrazadera rara vez se suelta. La hermeticidad técnica a largo plazo queda asegurada en particular mediante sellos apropiados para la clase de presión, la prevención de pérdida de presión en las conexiones de abrazadera de manguera, la resistencia del diseño a las cargas de precipitación y viento y medidas de protección de carácter organizativo. Nivel de presión máximo  $p_{\text{máx.}} = 5 \text{ mbares (5 hPa)}$  (dependiendo del sistema de inserto). Deberán utilizarse sellos resistentes al biogás. La hermeticidad técnica se comprobará inicial y periódicamente, p. ej. mediante localización con una cámara de detección de gas y la comprobación subsecuente con agentes espumantes o un detector de gas adecuado.

**Sin zona:** exterior.

- ▶ Al igual que anteriormente descrito, mas el inserto no se suelta solo en casos aislados.

**Zona 2:** 2 m alrededor del inserto

## Alrededores de sistemas de láminas individuales

- ▶ Hermeticidad técnica combinada con medidas organizativas adecuadas. Monitorización inicial y periódica, p. ej. localización mediante cámara de detección de gas y comprobación con agentes espumantes o un detector de gas adecuado.

**Sin zona.**

- ▶ Al igual que anteriormente descrito, pero sin medidas organizativas adecuadas y sin comprobación periódica.
- Zona 2:** 3 m alrededor del sistema de almacenamiento de gas y 2 m en sentido descendente a 45°.

## 6. Requisitos de las estructuras para tejados de madera en sistemas de almacenamiento de gas

Las estructuras para tejados de madera se utilizan con frecuencia como subestructura para los sistemas de almacenamiento de gas. Dado que las estructuras para tejados de madera en sistemas de almacenamiento de biogás están expuestas a condiciones especiales, y que los daños no apreciables visualmente en la madera reducen la capacidad portante de las vigas hasta el punto de que pueden desplomarse sin previo aviso, deberá emplearse un enfoque especial para comprobar la estabilidad estructural en aras de la seguridad de todas las personas a cargo de las labores de inspección/mantenimiento.



### Medidas de protección de carácter técnico

En los casos en que se utilicen estructuras para tejado de madera es importante asegurarse de que los cálculos analíticos de la estructura tienen en cuenta las características inusuales del entorno, la saturación de agua y los depósitos de azufre. Con vistas a garantizar la estabilidad de la estructura de madera, deberán instalarse refuerzos entre las vigas. Asimismo, será necesario elegir un tipo de madera adecuada y de calidad, cortada a medida con suma precisión. La construcción de apoyo de las vigas de madera deberá diseñarse de forma que las vigas no puedan desplazarse en caso de deformarse.



### Medidas de protección de carácter organizativo

A fin de asegurar la estabilidad de las estructuras para tejados de madera, deberán llevarse a cabo inspecciones visuales y comprobaciones regulares durante el funcionamiento para identificar cualquier anomalía. Si el tanque se abre por motivos operativos, deberá realizarse una prueba de carga antes de permitir que se pueda andar sobre él.

#### Controles regulares de las estructuras para tejados de madera

- ▶ Inspección visual regular a través de los visores por parte de las personas responsables (operador, persona designada por el operador o empresa especializada) para detectar:
  - ▷ deformaciones, irregularidades, cortes o astillado visibles, con el fin de descartar supuestos peligros graves durante pasos posteriores de la investigación.
- ▶ Controles regulares para identificar anomalías en el funcionamiento por parte de las personas responsables (operador, persona designada por el operador o empresa especializada) para detectar:
  - ▷ daños o averías en los agitadores, transportadores sin fin, etc.
  - ▷ trozos de madera en bombas, filtros o separadores de material grueso.

El objetivo es detectar daños en una fase temprana y prevenir consecuencias económicas.

#### ▶ Control ad hoc

Comprobación realizada durante la apertura del tanque por motivos operativos por las personas responsables (operador, persona designada por el operador o empresa especializada):

- ▷ Deberá realizarse una prueba de carga antes de que alguien pise la estructura para tejados de madera.
- ▷ La prueba de carga deberá realizarse con una carga calculada según la fórmula que se incluye posteriormente en al menos tres puntos representativos en el centro del vano (centro de una viga en dirección longitudinal). Si está afectada toda el área, las pruebas en la estructura del tejado deberán realizarse en al menos una de cada tres vigas, y en las vigas que llamen especialmente la atención o estén debilitadas. La carga de prueba deberá aplicarse durante al menos tres minutos en el centro del vano. Para ello, se puede emplear una grúa, por ejemplo.



Estructura para tejado de madera de un digestor

FUENTE: ÖKOBIT GMBH

El método que debe utilizarse para calcular la carga necesaria para probar la capacidad portante de las vigas de madera es el siguiente:

#### ▶ Con revestimiento en las vigas:

Área para carga en una viga de madera:

$$A = e \times \frac{R}{2} \text{ (m}^2\text{)}$$

e = espacio entre vigas

R = adio en metros

Carga de prueba (carga concentrada en centro del vano) para la prueba de carga:  $P = A \times \frac{75}{2}$  (kg)

Carga de prueba mínima: 200 kg de carga concentrada por persona, en cada viga sobre la cual van a andar una o varias personas.

#### ▶ Sin revestimiento en las vigas:

En este caso, la carga puede generarse, por ejemplo, mediante una paleta con un tanque de agua colocado en vigas portantes (12/12 cm).

$$\text{Área para carga en una viga de madera: } A = e \times \frac{R}{2} \text{ (m}^2\text{)}$$

Carga de prueba (carga concentrada en centro del vano) para la prueba de carga:  $P = A \times \frac{75}{2}$  (kg)

Carga de prueba mínima: 200 kg de carga concentrada por persona, en cada viga sobre la cual va a andar una persona o varias.

# Requisitos específicos

## 7. Requisitos de las salas de instalación para sistemas de almacenamiento de gas



### Medidas de protección de carácter técnico

Las salas de instalación para sistemas de almacenamiento de gas deben tener entradas y salidas de aire que no puedan cerrarse y que permitan la ventilación transversal. En los casos en que se utilice ventilación natural, la entrada de aire deberá colocarse cerca del suelo y la salida de aire en la pared opuesta cerca del techo.



### Medidas de protección de carácter organizativo

Antes de trabajar en áreas peligrosas es de suma importancia medir la distancia de separación. Será necesaria una autorización por escrito para trabajos que impliquen el uso de llamas abiertas.



### Clasificación de zonas EX

La bolsa de gas estará bajo el suelo y protegida contra las inclemencias meteorológicas mediante una carcasa fija. La carcasa será accesible en todo su contorno, incluso cuando la bolsa esté llena.

#### En espacios interiores

- ▶ Ventilación constante del espacio entre la bolsa de gas y la carcasa; monitorización del caudal y de la concentración; instalación de un dispositivo de protección contra sobrepresión del gas e instalación de un conmutador para baja presión del gas.

**Zona 2:** Dentro de la carcasa en un radio de 3 m alrededor de todas las aberturas hacia otras áreas, y en las proximidades de las aberturas hacia el aire libre, a excepción de los dispositivos de protección contra sobrepresión del gas. En el interior, la misma zona que el sistema de gas conectado.

- ▶ Ventilación natural del espacio entre la bolsa de gas y la carcasa; instalación de un dispositivo de protección contra sobrepresión del gas e instalación de un conmutador para baja presión del gas.

**Zona 1:** dentro de la carcasa

**Zona 2:** en un radio de 3 m alrededor de todas las aberturas. En el interior, la misma zona que el sistema de gas conectado.

#### Exteriores

La zonificación en exteriores es básicamente la misma que en los espacios interiores. Sin embargo, los efectos de la meteorología en exteriores generalmente hacen posible definir una zona con menos requisitos que para situaciones comparables en interiores o reducir las dimensiones de la zona.



Sistema de almacenamiento de gas

Si se instala un sistema de ventilación técnica deberá garantizarse que el aire de escape se extrae del área del techo. El aire de escape deberá ser expulsado directamente a la atmósfera. El sistema de ventilación forzada debe contar con unas dimensiones que le permitan diluir el mayor volumen de gas posible hasta una concentración de gas máxima del 20 % de LIE en la sala de instalación.

Las entradas y salidas de aire deben tener cada una las siguientes secciones transversales mínimas:

Volumen de almacenamiento de gas	Sección transversal
hasta 100 m <sup>3</sup>	700 cm <sup>2</sup>
hasta 200 m <sup>3</sup>	1.000 cm <sup>2</sup>
más de 200 m <sup>3</sup>	2.000 cm <sup>2</sup>

Las puertas deberán abrirse hacia afuera y tener cerradura. Deberán tenerse en cuenta las distancias de seguridad tal y como están definidas en la sección sobre el plan de protección contra incendios.

## 8. Requisitos de las piezas de transporte de sustrato de las plantas de biogás



### Medidas de protección de carácter técnico

Las tuberías de transporte de sustrato (incluidos accesorios, válvulas, bridas, selladores y equipos de transporte) en las plantas de biogás deben ser herméticos y presentar una resistencia adecuada a las influencias mecánicas, químicas y térmicas que cabe esperar que se produzcan en relación con la vida útil prevista. Deben instalarse por adherencia en sentido longitudinal y ser resistentes a las heladas.

Las tuberías se instalarán de forma que su posición no pueda alterarse de forma inadvertida. No se podrán utilizar como medio de transporte para otros sistemas de tuberías o cargas y no podrán conectarse a otros sistemas de tuberías. Las uniones y accesorios separables deberán instalarse como puntos fijos. Para las tuberías deberán emplearse siempre los materiales adecuados (incluidos accesorios, válvulas, bridas, selladores y equipos de transporte); el fabricante deberá verificar su idoneidad y su correcta fabricación y documentarlas de conformidad con las normas técnicas pertinentes.

El material de cada tubería debe ser elegido de acuerdo con las propiedades químicas de los sustratos que fluyan a través de la misma (si es aplicable, tener en cuenta posibles cambios en los materiales de alimentación), con la temperatura y la presión operativa. En función del área de aplicación, se considerará el uso de metal (acero, acero inoxidable) y/o materiales termoplásticos (PVC-U [no en tubería de drenaje subterránea], PE, PP). Las tuberías deberán estar protegidas contra la corrosión externa o la radiación UV, según proceda, en función del material y la ubicación de la instalación. El sistema de tuberías deberá ser planificado, diseñado e instalado de manera que pueda ser inspeccionado y probado no solamente antes de la puesta en marcha, sino también periódicamente (tener en cuenta la presión

de prueba; abastecerse de todos los dispositivos de desconexión o cierre necesarios para las pruebas).

Las tuberías de transporte de sustrato deberán calcularse y diseñarse de conformidad con las normas técnicas relevantes. Todas las fuerzas e influencias que actúen en el sistema de tuberías (p. ej. cargas dinámicas, cargas en las tuberías de conexión, estrés por vibraciones, picos de presión, viento/nieve) deberán tenerse en cuenta en el cálculo y el diseño de las tuberías de transporte de sustrato, de todas las piezas de las tuberías y de las estructuras portantes. En la medida de lo posible, las tuberías superficiales de transporte de sustrato deberán instalarse fuera de las vías de tráfico y las áreas para maniobras; de no ser posible, deberán protegerse frente a daños mecánicos con defensas protectoras contra impactos por colisión.

Las tuberías deben colocarse e instalarse de acuerdo con las normas reconocidas de los profesionales del sector. Las labores de unión serán realizadas siempre por especialistas calificados para trabajar con el material en cuestión. Las piezas prefabricadas deberán ser utilizadas para conexiones (a tuberías y ejes/conductos). Las tuberías deberán conectarse a los edificios de manera que el hundimiento del terreno, por ejemplo, no afecte negativamente la hermeticidad de las uniones. Los pasamuros deberán utilizar sistemas de conducción de tuberías que estén estrechamente integrados en la pared y asegurados para evitar que puedan ser empujados hacia fuera. Deberán seguirse las instrucciones de instalación facilitadas por los fabricantes de las tuberías y sistemas de pasamuros. Cuando sea necesario, se deberán asegurar las tuberías para evitar que sean extraídas.

Si fuera imposible impedir que se sobrepase la presión operativa máxima, deberán adoptarse medidas para evitar la presión excesiva en el sistema de tuberías. Con el fin de evitar la

#### CONSEJO: tuberías PVC-U

El PVC no es resistente a la radiación UV y presenta una baja resistencia al impacto. Un almacenamiento y procesamiento correctos son esenciales dondequiera que se utilice, lo que significa, en particular, seguir las instrucciones relevantes (por ejemplo, las instrucciones del fabricante) por lo que se refiere a la instalación y el procesamiento. Deberán aportarse pruebas de que el instalador cuenta con los conocimientos técnicos necesarios.

El cobre no es resistente al biogás; la experiencia ha demostrado que el latón y el bronce de cañón son adecuados (las tuberías de drenaje del subsuelo de PVC disponibles comercialmente no están permitidas porque su rigidez

estructural se corresponde con un máximo de solamente 500 hPa (0,5 bares)). Las tuberías, incluidos todos los equipos asociados y las conexiones flexibles, deberán tener una rigidez estructural de al menos 1.000 hPa (1 bar). Como regla general, deberán utilizarse tuberías de acero. Las tuberías de plástico podrán utilizarse fuera de espacios cerrados si están instaladas por debajo del nivel del suelo en todos los casos, y por encima del nivel del suelo como tuberías de conexión con un tanque de almacenamiento con revestimiento de plástico y como tuberías de conexión con el digestor. Las tuberías de plástico deberán estar protegidas contra los daños mecánicos y térmicos y, en caso necesario, contra la radiación UV.

# Requisitos específicos

descarga no intencionada de un tanque en caso de que falle la tubería conectada al tanque por debajo del nivel de líquido, deberá ser posible interrumpir directamente el flujo de la tubería en el tanque mediante una válvula de compuerta.



## Medidas de protección de carácter organizativo

Deberá diseñarse un plano de la disposición de las tuberías (incluida la posición y el tipo de las válvulas, accesorios, tuberías y soportes de conexión) en el que se muestre el ma-

terial y las dimensiones del sistema de tuberías, el trazado de las tuberías y la integración en la planta de biogás.

Las válvulas de compuerta, especialmente aquellas del equipo de llenado, y otros dispositivos de desconexión o cierre (aberturas de inspección y bombas) deberán asegurarse contra aperturas no autorizadas.

El operador deberá controlar regularmente todas las tuberías visibles para detectar fugas mediante inspección visual y deberá documentar la inspección.

## 9. Requisitos de las piezas de transporte de gas de las plantas de biogás



FUENTE: SCHMACK

Tuberías de gas (y etiquetado)



## Medidas de protección de carácter técnico

Las piezas de transporte de gas de la planta de biogás deberán protegerse frente a influencias y daños químicos, climatológicos y —en áreas vulnerables— mecánicos (p. ej. defensas protectoras contra impactos por colisión en áreas donde circulan vehículos).

Las tuberías de transporte de gas deberán satisfacer los requisitos nacionales, con prueba de fabricación correcta, idoneidad para el biogás y hermeticidad, por ejemplo, mediante un certificado del fabricante. Los requisitos derivados del análisis estructural (carga de viento, nieve, etc.) deberán tenerse en cuenta a la hora de seleccionar los materiales de las tuberías y calcular los vanos. Deberán seguirse las instrucciones de instalación facilitadas por los fabricantes de las tuberías y pasamuros a la hora de instalar las tuberías a través de edificios (p. ej. tuberías de gas y de sustrato) y para instalaciones de ingeniería hidráulica como digestores, cámaras de condensado u otras estructuras.

En las tuberías de gas que conducen a equipos de consumo, tales como calderas, antorchas de gas y unidades de cogeneración, deberán instalarse y activarse dispositivos antirretroceso de llama lo más cerca posible del equipo de uso final.

Los manguitos acoplables que no se hayan instalado por adherencia en sentido longitudinal deberán asegurarse contra el empuje, de acuerdo con las presiones que se originen. Las conexiones de tuberías deberán instalarse por adherencia en sentido longitudinal.

Los daños mecánicos derivados del hundimiento (por ejemplo, en el caso de los pasamuros) deberán evitarse mediante el uso de pasamuros adecuados y conexiones apropiadas. Si el gas está mojado, es importante garantizar que las tuberías están protegidas de las heladas. Las tuberías de descarga de condensado deberán estar diseñadas para ser resistentes a las heladas y estar operativas en todo momento. Las tuberías que establecen la conexión con el tanque de almacenamiento de gas dentro de la sala de instalación del tanque de almacenamiento de gas se consideran parte del tanque de almacenamiento de gas.

Deberán instalarse dos válvulas de cierre en el tramo ascendente de la línea de gas de cada unidad de motor. Las válvulas se cerrarán automáticamente cuando el motor se pare. Se hará un control regular de los intersticios para detectar fugas. Si la línea de suministro del motor presenta una presión ascendente constante (> 5 mbares), incluso con el motor parado, será necesario un sistema automático de monitorización de los intersticios.



## Medidas de protección de carácter organizativo

Las tuberías deberán estar etiquetadas para indicar el material transportado y la dirección del flujo. Si existen, deberán

seguirse las directrices nacionales pertinentes a este respecto. La ubicación de las líneas de gas por debajo del suelo deberá identificarse mediante cinta de señalización de gasoductos. El fabricante de la unidad CHP deberá certificar la idoneidad de las piezas conectoras flexibles para transporte de gas que forman parte de la unidad CHP y las piezas que forman parte del sistema de refrigeración del aire de carga.

Los puntos de conexión en las líneas de gas para equipos no estacionarios, como por ejemplo antorchas de gas portátiles, deberán ser equipados con válvulas de aislamiento. La válvula de cierre deberá instalarse en sentido ascendente del equipo no estacionario, tomando como referencia la dirección del flujo de gas. Deberá ser posible una utilización segura.



## Clasificación de zonas EX

### Tuberías de transporte de gas

- ▶ Tuberías de transporte de biogás (técnicamente herméticas); inspección periódica de partes de la planta para detectar fugas.

**La misma zona** que las partes de la planta conectadas.

- ▶ Tuberías de transporte de biogás (técnicamente herméticas); inspección periódica de las partes de la planta para detectar fugas, pero se puede formar una atmósfera potencialmente explosiva en las partes de la planta conectadas. La penetración de atmósferas potencialmente explosivas en las tuberías se evita mediante el aislamiento automático con respecto al sistema de gas conectado.

**La misma zona** que las partes de la planta conectadas.

## 10. Requisitos de las trampas de condensado



### Medidas de protección de carácter técnico

Deberá ser posible, de forma fácil y segura, inspeccionar y mantener las trampas de condensado sin tener que escalar dentro de las cámaras o pozos. No estarán permitidos los garfios de trepar fijados de forma permanente a no ser que la cámara de la trampa de condensado cuente con ventilación de aire forzada. Además, solamente estará permitido acceder a las cámaras después de haber medido la distancia de separación.

El diseño de la trampa y las medidas de mantenimiento deben garantizar la prevención de fugas de gas en todos los estados operativos. Las tuberías de descarga de condensado deben estar diseñadas para ser resistentes a las heladas y estar operativas en todo momento.

Los sistemas de sellado presurizados deben diseñarse de manera que no puedan producirse fugas del líquido de sellado cuando el sistema está activado, sino que se produzca un flujo de retorno automáticamente. El nivel de llenado del sello líquido se corresponderá al menos con una presión de 15 hPa (columna de agua de 150 mm o 15 mbares) por encima de la presión de respuesta máxima de los dispositivos de seguridad y será monitorizado mediante instrumental de medición.



### Medidas de protección de carácter organizativo

Deberán tenerse en cuenta los requisitos aplicables al trabajo en solitario (véase la sección sobre medidas de protección).



## Clasificación de zonas EX

### En espacios interiores

- ▶ La fuga de gas se evitará mediante el uso de sistemas de drenaje cerrados, p. ej. sistemas de bloqueo con válvulas de cierre doble interconectadas; espacios con ventilación natural.

**No se necesita zona.**

- ▶ Si hubiera llaves de vaciado, o sellos de agua abiertos, cabrá esperar que se forme una atmósfera explosiva peligrosa como consecuencia de que se perforen o vacíen los sellos de agua, o debido a un error operativo. Descarga a espacios cerrados; espacio con ventilación técnica.

**Zona 2:** todo el espacio

- ▶ Si hubiera llaves de vaciado, o sellos de agua abiertos, cabe esperar que se forme una atmósfera explosiva peligrosa como consecuencia de que se perforen o vacíen los sellos de agua, o debido a un error operativo. Descarga a espacios cerrados; espacio con ventilación natural.

**Zona 1:** todo el espacio

**Zona 2:** 1 m alrededor de las aberturas en un espacio cerrado

### Exteriores

- ▶ Llaves de vaciado de exteriores, o tuberías procedentes de separadores de condensado instaladas en el interior que desembocan en el exterior.

**Zona 1:** 1 m alrededor de la boquilla de salida

**Zona 2:** 2 m más lejos alrededor de la boquilla de salida

# Requisitos específicos

## 11. Requisitos de los dispositivos de protección contra sobrepresión y subpresión



FUENTE: MTENERGIE

Dispositivo de protección contra sobrepresión y subpresión en un digestor



### Medidas de protección de carácter técnico

Todo tanque hermético al gas deberá estar equipado con al menos un dispositivo de protección para evitar que la presión sobrepase los límites establecidos o caiga por debajo de los mismos. Cualquier gas que se libere siempre que sea necesario deberá ser descargado de forma segura. Deberá utilizarse un dispositivo de monitorización de baja presión independiente o una medición equivalente para garantizar que la desconexión de los sistemas de consumo de gas se realiza de manera segura o que la eliminación del sustrato/producto de la digestión se interrumpe antes de que sea activado el dispositivo de protección contra subpresión, y que se emite una señal de alarma. Si hay sobrepresión en el sistema de gas (sistemas de almacenamiento de gas, tuberías, etc.), por norma general, un equipo de consumo de gas alternativo (p. ej. antorcha de gas) debería evitar la liberación incontrolada de biogás (véase la sección requisitos de las antorchas de gas). No se deberá poder en modo alguno interrumpir la alimentación en la línea de alimentación del dispositivo de protección contra sobrepresión y subpresión. Los dispositivos de protección contra sobrepresión y subpresión deberán ser resistentes a las heladas.

Deberá ser posible realizar labores de inspección y mantenimiento en los dispositivos de protección contra sobrepresión y subpresión de forma fácil y segura (escaleras de obra en lugar de escalera de mano).

La formación de espuma procedente del sustrato dentro del digestor o el tanque es un fallo operativo y puede afectar negativamente al funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobrepresión y subpresión. Esto deberá evitarse mediante la adopción de medidas de carácter técnico y organizativo. Deberán prevenirse las averías/daños producidos por la formación de espuma mediante la provisión de, por ejemplo, un dispositivo de protección contra explosión, un dispositivo de descarga de presión o suficiente espacio de almacenamiento.

La idoneidad del dispositivo de protección contra sobrepresión y subpresión deberá haber sido probada mediante un cálculo verificable y una descripción funcional. Si está diseñado para ser sumergido, no podrá permitirse que el tanque de líquido se ponga en funcionamiento vacío, secado o congelado. Los sellos líquidos utilizados como dispositivos de protección deberán concebirse de manera que el líquido sellante fluya automáticamente en dirección de retorno en caso de sobrepresión o subpresión. Asimismo, deberá estar garantizado el cierre automático de los dispositivos de protección contra sobrepresión y subpresión para los sistemas mecánicos e hidráulicos.

Siempre que sea necesario liberar gas en caso de sobrepresión, deberá descargarse de forma segura o bien en sentido ascendente o lateral. Las tuberías de descarga procedentes de los dispositivos de protección contra sobrepresión y subpresión deberán conducir a un punto final a al menos 3 m por encima del suelo o el nivel operativo y 1 m por encima del tejado o el borde del sistema de almacenamiento de gas, o al menos a 5 m de distancia de los edificios y vías públicas.



### Medidas de protección de carácter organizativo

Los dispositivos de protección contra sobrepresión y subpresión deberán ser inspeccionados de conformidad con los planes de mantenimiento (véase la sección sobre inspecciones y pruebas).



### Clasificación de zonas EX

Deberá designarse una zona EX alrededor de la abertura de la tubería de descarga en función de la frecuencia y la duración de la formación de una atmósfera potencialmente explosiva. Requisitos generales:

- ▶ La salida del dispositivo de protección contra sobrepresión y subpresión estará al menos 3 m por encima de la plataforma de control (nivel de inspección) y 1 m

por encima del borde superior del sistema de almacenamiento de gas, con una capacidad de descarga de hasta 250 m<sup>3</sup>/h; flujo de salida en sentido ascendente o lateral, sin obstáculos y seguro. El dispositivo de protección contra sobrepresión y subpresión será controlado regularmente (diariamente) para garantizar un funcionamiento correcto.

**No es necesaria la zonificación.**

- ▶ Restricción de la respuesta del dispositivo de protección contra sobrepresión y subpresión y limitación de las emisiones mediante un sistema de monitorización automática del nivel de llenado del gas para el funcionamiento con reserva de volumen residual o consumo de carga variable, p. ej. unidad CHP con reserva de potencia, y combustión mediante equipo de consumo de gas adicional o disponible permanentemente antes de que responda el dispositivo de protección contra sobrepresión y subpresión.

**Zona 2:** 3 m alrededor de la abertura de descarga

- ▶ Restricción de la respuesta del dispositivo de protección contra sobrepresión y subpresión y limitación de las emisiones mediante un sistema de monitorización automática del nivel de llenado del gas para el funcionamiento con reserva de volumen residual o consumo de carga variable, p. ej. unidad CHP con reserva de potencia, y combustión mediante equipo de consumo de gas adicional o disponible permanentemente antes de que responda el dispositivo de protección contra sobrepresión y subpresión, cuando no se puedan aplicar todas estas medidas:

**Zona 1:** 1 m

**Zona 2:** 2 m más alrededor de la abertura de descarga del dispositivo de protección contra sobrepresión.

## 12. Requisitos de la purificación del gas

Normalmente, el biogás se somete a un proceso de prelavado antes de su utilización. Además de los filtros finos, esto implica en la mayoría de los casos el uso de sistemas de desulfurización.

### 12.1. Desulfurización interna mediante el suministro de aire a espacios de gas en el digestor



#### Medidas de protección de carácter técnico

Si se lleva a cabo la desulfurización mediante el suministro de aire a los espacios de gas en el digestor, el aire añadido deberá ser distribuido espacialmente y proporcionado de manera que, incluso en caso de fallo del sistema de control del flujo, no sea posible bombear un flujo volumétrico total significativamente superior al 6 % del biogás producido en el mismo intervalo de tiempo.

Será necesario un sistema de prevención del retorno (válvula de control) en la línea de alimentación al espacio de gas, tan cerca como sea posible al espacio de gas. Aparte de un dispositivo de desconexión o cierre, no podrá haber otros accesorios entre la válvula de control y el espacio de gas. El espacio entre la válvula de control y la bomba dosificadora deberá ser despresurizado hacia un área segura en el exterior si la bomba se para por riesgo de que se produzca una fuga de gas hacia el espacio interior.



#### Medidas de protección de carácter organizativo

Control regular del contenido de oxígeno mediante la medición del caudal volumétrico de oxígeno y la comprobación de la plausibilidad de la generación de gas o la medición regular del contenido de oxígeno utilizando un analizador de gas.



#### Clasificación de zonas EX

- ▶ Aire suministrado al interior del digestor. Los manguitos de tubería a través de la carcasa del digestor deben ser técnicamente herméticos de manera permanente. Entrada de aire protegida contra retorno con admisión distribuida espacialmente; volumen de aire máx. < 6 % del volumen de biogás nominal. Limitación del caudal volumétrico de aire garantizada por medios técnicos, p. ej. capacidad máxima del compresor.

**Zona 0:** solo en las proximidades de las aberturas de entrada de aire y la zona adyacente del sistema de gas.

### 12.2. Desulfurización interna mediante la adición de compuestos ferruginosos

Si la desulfurización se lleva a cabo mediante la adición de compuestos ferruginosos (p. ej. cloruro de hierro) al digestor, deberán seguirse las instrucciones del fabricante

# Requisitos específicos

indicadas en la ficha de datos de seguridad. Dado que los compuestos ferruginosos tienen un efecto corrosivo, los materiales que entren en contacto con los mismos deberán ser resistentes a la corrosión que originan.

## 12.3. Desulfurización mediante materiales ferrosos o carbón activo en instalaciones externas

Los materiales ferrosos o el carbón activo se utilizan con frecuencia para la desulfurización externa del biogás. Estos materiales son capaces de acumular compuestos de azufre. Existe un riesgo de calentamiento espontáneo cuando se retiran o regeneran estos medios de filtrado.



### Technical protective measures

Con el fin de poder evaluar la capacidad funcional del carbón activo u otros materiales en todo momento, incluso durante la operación normal, se recomienda encarecidamente instalar sistemas de monitorización adecuados (p. ej. un analizador de gas).



### Medidas de protección de carácter organizativo

Si es inevitable el uso de materiales ferrosos o carbón activo, deberán elegirse clases de cero de emisiones o con bajo nivel de emisiones (p. ej. productos granulados o recubiertos en lugar de productos en polvo).



### Clasificación de zonas EX

Áreas colindantes de las unidades de desulfurización externa (digestores en el exterior)

#### Exteriores

- ▶ Sistema de desulfurización técnicamente hermético.  
**No será necesaria la zonificación**, a no ser que en las instrucciones del fabricante se especifiquen diferentes zonas de clasificación.

#### En espacios interiores

- ▶ Sistema de desulfurización técnicamente hermético.  
**Zona 2:** espacio íntegro

## 13. Requisitos del análisis de gas

En la práctica se utiliza una variedad de sistemas de análisis de gas, distinguiendo entre sistemas portátiles y fijos y entre sistemas manuales y automatizados. Los siguientes componentes de gases se detectan regularmente: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y O<sub>2</sub>.



### Medidas de protección de carácter técnico

El gas objeto de medición deberá descargarse en el aire libre o devolverse a la corriente de gas. Como alternativa, deberá instalarse un sistema de ventilación forzada con una tasa mínima de intercambio de aire que garantice una dilución adecuada del máximo posible de volúmenes de gas o el sistema de gas deberá ser reubicado a la sala de instalación de la unidad CHP.



### Medidas de protección de carácter organizativo

Se recomienda un mantenimiento y calibración regulares de los sistemas de análisis de gas siguiendo las instrucciones del fabricante.



### Clasificación de zonas EX

- ▶ Tras analizar el gas, este se descarga del analizador al aire libre.  
**Zona 2:** en las proximidades de la abertura de descarga.
- ▶ Analizador de gas técnicamente hermético en combinación con medidas organizativas adecuadas y controles regulares para detectar fugas y una ventilación adecuada del área.  
**No será necesaria la zonificación**, a no ser que en las instrucciones del fabricante se especifiquen diferentes zonas de clasificación.

## 14. Requisitos de los accesorios y dispositivos de seguridad expuestos al gas

Las plantas de biogás cuentan con varios accesorios y dispositivos de seguridad que están expuestos al gas, incluidos:

- ▶ dispositivos de protección contra sobrepresión y subpresión;
- ▶ dispositivo antirretroceso de llama;
- ▶ válvula de compuerta;
- ▶ llave de muestreo;
- ▶ válvula de cierre
- ▶ separador de polvo;
- ▶ etc.



### Medidas de protección de carácter técnico

Los accesorios, los dispositivos de seguridad y las piezas de la planta expuestas al gas deberán ser instalados de forma que sean resistentes a las heladas de conformidad con las

directrices nacionales y deberán someterse a controles para detectar fugas. Asimismo, deberán presentar resistencia suficiente a los medios, la corrosión y la presión.



### Medidas de protección de carácter organizativo

Las válvulas y los accesorios deberán poder ser manipulados fácilmente por un operador desde una posición segura. Los accesorios utilizados para extraer gas deberán estar asegurados frente a la apertura no autorizada y no intencionada, por ejemplo, bloqueando el asa.

Las instrucciones de trabajo/instrucciones operativas deberán establecer la obligación de comprobar los dispositivos de seguridad después de una avería operativa y periódicamente en condiciones de funcionamiento normales, observando las instrucciones del fabricante.

## 15. Requisitos de las antorchas de gas

Con el fin de evitar la liberación de metano, un gas perjudicial para el medio ambiente, varias directrices nacionales exigen que las plantas de biogás cuenten con sistemas de consumo de gas alternativos (uso térmico). Los sistemas de antorcha se utilizan con frecuencia para este fin. Existen diferentes tipos de sistemas de antorcha, que se pueden dividir básicamente en tres categorías: antorchas abiertas; antorchas de llama cerrada (>850 °C) y antorchas de llama cerrada de altas temperaturas (>1.000 °C).



### Medidas de protección de carácter técnico

Los sistemas de antorchas de gas destinados a ser utilizados como equipos alternativos de consumo de gas deben estar permanentemente preparados para entrar en funcionamiento y ser capaces de asimilar el volumen máximo de producción de biogás. El sistema de antorcha de gas suele ser activado por el nivel de llenado del sistema de almacenamiento de gas, ya sea mediante control por presión o mediante una señal externa. La duración de los intervalos de ignición deberá garantizarse mediante tecnología de control. Cada sistema de antorcha de gas deberá contar con una válvula de seguridad (apertura retardada/cierre rápido, normalmente cerrada) que evite de forma fiable el flujo incontrolado de aire al sistema de gas de la planta de biogás. La función de cierre rápido se ejecutará en menos de un segundo. El sistema de antorcha de gas deberá cumplir los requisitos generales

para partes de plantas expuestas al gas (en particular, hermeticidad técnica, resistencia a la corrosión y resistencia a las heladas —incluida la tubería de descarga de condensado— de conformidad con los requisitos de protección contra explosiones). Las antorchas de gas deberán estar equipadas con un dispositivo antirretroceso de llama (DIN EN ISO 16852). Este deberá instalarse lo más cerca posible del equipo de uso final.

La resistencia al calor de los materiales utilizados deberá tenerse en cuenta, en relación con la cual deberán presentarse, por ejemplo, las notificaciones del fabricante o un certificado de examen de tipo. La presión mínima necesaria de suministro de gas (presión de flujo) para la antorcha de gas deberá ser acordada entre el fabricante y el operador para cada antorcha de gas. Una presión del suministro de gas insuficiente puede redundar en que se apague la llama, especialmente



Antorcha de gas

# Requisitos específicos



Gas flare

si sopla el viento o en otros estados operativos especiales (gran fluctuación en el nivel de llenado del sistema de almacenamiento de gas). En los sistemas de antorcha de gas automáticos se recomienda que se garantice una presión mínima de conexión de 10 hPa (0,01 bares). Si no fuera posible alcanzar una presión de suministro de gas suficiente en sentido ascendente del sistema de antorcha de gas, deberá proporcionarse un equipo adecuado para rectificar esta carencia (p. ej. soplador potenciador de la presión del gas, válvula de mantenimiento de la presión).

De cara a la realización de labores de emergencia y de mantenimiento en exteriores, el suministro de gas a los sistemas de antorcha de gas debe poder desconectarse manualmente lo más cerca posible de la ubicación donde está instalado el equipo de consumo. Las posiciones abierto y cerrado deben ser identificables o estar rotuladas.

Deberá ser posible operar con sistemas de antorcha de gas suficientemente fiables, por ejemplo, independientemente del suministro de corriente procedente de la red de electricidad (en caso de cortes de corriente, por ejemplo, mediante batería, suministro eléctrico de emergencia o me-

diante otras medidas de carácter organizativo en la parte correspondiente al operador), de modo que se evite de forma segura la liberación de biogás sin quemar. Los sistemas de antorchas de gas deberán instalarse y colocarse de modo que no pongan en peligro a las personas por gases, llamas o partes calientes. La antorcha de gas deberá erigirse de modo que la llama se mueva lejos del tanque de almacenamiento de gas, los dispositivos de descarga de presión, edificios y vías públicas cuando el viento procede de la dirección dominante.

Los gases de escape de la antorcha deberán descargarse por encima del nivel del tejado con flujo de salida libre o a través de una tubería de descarga, que deberá estar a una distancia de al menos 5 metros de edificios y vías públicas y deberá desembocar a una altura de al menos 3 metros sobre el suelo.



## Medidas de protección de carácter organizativo

La antorcha de gas deberá ser sometida a controles regulares para verificar que su equipo de seguridad y monitorización son técnicamente herméticos y funcionan correctamente. Deberán seguirse las instrucciones del fabricante para la puesta en servicio, funcionamiento y mantenimiento.



## Clasificación de zonas EX

► La fuga de gas al área circundante en caso de que la llama no esté ardiendo se previene mediante un dispositivo automático de desconexión conectado a un dispositivo de ignición accionado automáticamente y un sistema de monitorización de la llama (dispositivo de autoencendido). Se instalará un dispositivo antirretroceso de llama adecuado en la línea de gas de sentido ascendente de la antorcha.

**No se necesita zona.**

## 16. Requisitos del sistema de control de procesos/del sistema de instrumentación y control (I&C)



### Medidas de protección de carácter técnico

Los sistemas de control con funciones de seguridad deberán ser diseñados de manera que sean a prueba de fallos, a no ser que estén respaldados por un sistema redundante, por ejemplo, un dispositivo mecánico de protección contra sobrepresión para proteger contra las sobrepresiones o un dispositivo antidesborde para proteger contra el sobrellenado.

En caso de fallo de la potencia auxiliar (electricidad, suministro hidráulico o neumático a la planta de biogás), se conmuta un sistema de desconexión de seguridad o de activación de parada de emergencia, la planta o las partes relevantes de la planta deben conmutarse al estado seguro. El estado de seguridad podrá alcanzarse aplicando medidas de ingeniería de control, medidas hidráulicas o medidas mecánicas.

## Ejemplos:

- ▶ Cerrar las válvulas de gas automáticas fuera de la sala de instalación de la unidad CHP.
- ▶ Desconectar los compresores de gas relevantes.
- ▶ Desconectar todas las piezas no protegidas contra explosiones en salas de instalación expuestas al gas (unidad CHP, purificación de gas, etc.).
- ▶ Cerrar las válvulas de compuerta de modo que el sustrato no pueda fluir de nuevo al sistema de alimentación (p. ej. pozo del predigestor, cobertizo de animales).
- ▶ Las instalaciones de alimentación externas deberán poder desconectarse en caso de que el sistema falle para prevenir el sobrellenado.
- ▶ La caída del nivel de llenado no deberá provocar un escape incontrolado de gas, por ejemplo, procedente del sistema de alimentación.

A los equipos eléctricos de máquinas y las partes equivalentes relacionadas con la seguridad de los sistemas de control deberá aplicarse la última norma vigente con vistas a diseñar las partes relacionadas con la seguridad del sistema de control. Deberá realizarse un análisis del riesgo y del peligro de conformidad con las directrices nacionales.



## Medidas de protección de carácter organizativo

Deberán establecerse, determinarse y documentarse, sobre la base de una evaluación del peligro, los requisitos para el funcionamiento seguro del equipo de instrumentación y control (I&C) con una función de seguridad.

## 17. Requisitos de la ingeniería eléctrica

### 17.1. Conexión equipotencial

La normativa nacional pertinente es de aplicación para todas las instalaciones eléctricas y equipos de distribución. Con el fin de prevenir que se formen diferencias de potencial, todas las partes de la planta electroconductoras deberán conectarse entre sí y, asimismo, al conductor de protección y la compensación de potencial.

#### CONSEJO

*Resulta siempre aconsejable que un electricista calificado revise las instalaciones eléctricas antes de la puesta en servicio de la planta y periódicamente. Para obtener más información, consulte la sección sobre inspecciones y pruebas.*



## Medidas de protección de carácter técnico

Se deberán adoptar las siguientes medidas de protección para prevenir diferencias de potencial:

- ▶ Los pasamuros para cables y prensaestopas deberán ser adecuados para los tipos de protección contra ignición correspondientes. Además, las instalaciones eléctricas deberán diseñarse y el equipo eléctrico deberá ensamblarse e instalarse de manera que se garantice un acceso fácil para labores de inspección, prueba y mantenimiento.

- ▶ Los cables y líneas eléctricas deberán tenderse separadamente con respecto a las tuberías, a excepción de los sistemas eléctricos de calentamiento. Las instalaciones eléctricas deberán diseñarse de modo que restrinjan los efectos de los campos electromagnéticos a un nivel seguro.
- ▶ Las acumulaciones peligrosas de polvos electroconductores dentro de o sobre equipos eléctricos deberá evitarse, por ejemplo, mediante una estanqueidad mejorada al polvo del equipo.
- ▶ Deberán adoptarse las medidas adecuadas para prevenir la entrada de fuentes de ignición en áreas peligrosas a través de cables y líneas. En las áreas peligrosas, los cables y líneas deberán tenderse de manera ininterrumpida. Si no es posible, las conexiones deberán efectuarse dentro de envolventes con un tipo de protección adecuado para la zona o deberán asegurarse mediante cajas de conexión adecuadas.
- ▶ Las descargas de electricidad estática deberán evitarse en caso de que puedan actuar como fuentes de ignición eficaces.
- ▶ Los procesos que generan cargas elevadas dan lugar a unos niveles de carga tan elevados que pueden producirse descargas que induzcan una ignición espontánea. Deberá evitarse el uso de objetos o equipos compuestos de materiales aislantes en áreas peligrosas. Si no pueden utilizarse objetos o equipos compuestos de materiales conductores o disipadores, deberán adoptarse medidas para prevenir cargas peligrosas.

# Requisitos específicos

## CONSEJO

Entre las posibles medidas se incluyen revestimientos conductores o disipadores, hilos conductores en textiles, limitación de las áreas de superficie o medidas organizativas cuya eficacia esté garantizada.



### Medidas de protección de carácter organizativo

El operador de la planta deberá garantizar que las únicas personas que tienen acceso al área de peligro de las instalaciones eléctricas son aquellas que, debido a su formación profesional, conocimientos y experiencia están en situación de reconocer los peligros eléctricos que se generen y adoptar las medidas necesarias en materia de salud y seguridad laboral; asimismo, deberá garantizar que otras personas solamente podrán acceder al área de peligro cuando vayan acompañadas de los profesionales que cumplen las características descritas anteriormente.

El operador de la planta deberá garantizar también que todas las instalaciones y los equipos eléctricos utilizados son adecuados para su uso bajo exposición a estrés y carga que se derivan de las condiciones operativas y del entorno en el lugar de trabajo.

### 17.2. Medidas de protección en caso de interrupción del suministro eléctrico

Como parte de la evaluación del peligro, es importante elaborar una lista lo más exhaustiva posible de los peligros potenciales para cada planta de biogás en particular y determinar las medidas de protección necesarias que se derivan de cada situación específica. En adelante, el foco de atención se centra en los peligros que se originan y las contramedidas necesarias que deben adoptarse en caso de que falle la red de electricidad pública.



### Medidas de protección de carácter técnico

Con el fin de poder garantizar un suministro de corriente de emergencia a la planta de biogás, el primer requisito es contar con una instalación tolerante a fallos (p. ej. a salvo de inundaciones o del sustrato si se producen fugas dentro del muro circundante).

Además, la instalación eléctrica de la planta de biogás deberá ser revisada de modo que esté en condiciones de poder activar, mediante una “acción rápida”, los agitadores y otros componentes importantes. A este respecto, deberán tenerse también en cuenta los fallos de corriente provocados por las tormentas, por ejemplo: si no se pueden iniciar

rápidamente componentes importantes como el controlador lógico programable (CLP), el convertidor de frecuencia, las unidades de alimentación de corriente de 24 voltios o los relés de parada de emergencia, deberán adoptarse otras medidas preventivas. Idealmente, los agitadores u otros componentes importantes podrán ser iniciados en paralelo con el sistema de control de la planta utilizando una instalación simple sin CLP y convertidores de frecuencia (p. ej. funcionamiento solo con conector enchufable y protección del motor).

En las plantas de biogás relativamente grandes que cuentan con varias partes (como por ejemplo sistemas de procesamiento de gas), los sistemas de antorchas de gas no son controlados necesariamente por la planta de biogás ni suministrados por la planta de biogás. En esos casos, debería estudiarse cómo poner en funcionamiento el sistema de antorcha de gas mediante medios “simples” en caso de que se interrumpa por completo el suministro eléctrico.

Con el fin de poder garantizar un suministro fiable de corriente, es asimismo de suma importancia determinar la corriente necesaria para mantener los procesos esenciales. Esto incluye:

- ▶ Definir todos los procesos que deben seguir funcionando en caso de fallo de corriente.
- ▶ Establecer durante cuánto tiempo deben seguir funcionando los procesos definidos para evitar que se produzca algún peligro.
- ▶ Determinar la demanda de corriente que debe satisfacer un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI):
  - ▷ tecnología de la información
  - ▷ sistemas de alarma
  - ▷ telecomunicaciones
  - ▷ iluminación de seguridad, etc.
- ▶ Determinar la cantidad total de corriente necesaria para mantener procesos de relevancia operativa crítica:
  - ▷ tecnología de la información (todo lo anterior)
  - ▷ control del sistema
  - ▷ agitadores
  - ▷ equipos de consumo de gas (si es aplicable, incluido el compresor)
  - ▷ iluminación

Elegir la estrategia adecuada para el suministro de corriente de emergencia también es importante. En la Tabla 6 se presentan varias opciones.

**Tabla 6: Ventajas y desventajas de diferentes estrategias para el suministro de corriente de emergencia**

	Ventajas	Desventajas
Unidad para suministro de corriente de emergencia fija con reserva de combustible propia	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Disponibilidad</li> <li>▶ Posibilidad de arranque automático</li> <li>▶ Menos posibilidades de error en la puesta en servicio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Requiere mantenimiento regular</li> </ul>
Unidad para suministro de corriente de emergencia portátil con existencias propias de combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Puede utilizarse también para otros fines durante períodos breves (!)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Generalmente más pequeña que las unidades fijas</li> <li>▶ Requiere conocimientos eléctricos básicos (son necesarios numerosos procedimientos de conexión manual)</li> <li>▶ Implica mayor carga de trabajo para su configuración en situación de emergencia que una unidad de suministro eléctrico de emergencia fija (obtener la unidad y conectar los cables a la planta de biogás)</li> </ul>
Unidad de suministro eléctrico de emergencia portátil accionada por tractor (conexión de toma de fuerza)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Alto nivel de disponibilidad:</li> <li>▶ Bajo coste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Requiere incluso más conocimientos eléctricos básicos (¿campo de rotación?, ¿potencia de salida máx. disponible?, ¿conexión equipotencial?, estabilidad del sistema de corriente, etc.) y son necesarios numerosos procedimientos de conexión manual</li> <li>▶ Implica una carga de trabajo para su configuración en situación de emergencia incluso mayor que una unidad de suministro eléctrico de emergencia portátil (obtener la unidad, cables y tractor)</li> <li>▶ El tractor debe encajar con la unidad (eje de toma de fuerza correcto, velocidad de rotación correcta, salida de potencia suficiente)</li> </ul>



## Medidas de protección de carácter organizativo

Deberán observarse numerosas medidas adicionales de carácter organizativo para proteger la unidad de suministro eléctrico de emergencia.

### Elaboración de un plan de emergencia en caso de fallo del suministro eléctrico que comprenda:

- ▶ organigrama (estructura de la organización);
- ▶ determinación de obligaciones y responsabilidades, incluidos números de teléfono, en particular acuerdos relativos al servicio de guardia y sus obligaciones y facultades;
- ▶ descripción de tareas;
- ▶ niveles de alarma y canales de toma de decisiones (procedimientos organizativos);
- ▶ determinación de qué estaciones de trabajo se pueden utilizar y qué estaciones de trabajo están expuestas a riesgos (p. ej. dispositivo de protección contra sobrepresión y subpresión).

Además, se deberán celebrar periódicamente sesiones de instrucción e información para los empleados y documentarlas por escrito, así como realizar simulacros que cubran situaciones de peligro específicas. Las experiencias obtenidas

deberían incorporarse a la estrategia de actuación en caso de emergencia.

Los planes de inspección y mantenimiento deberán actualizarse regularmente. Asimismo, también es importante comprobar regularmente si el diseño de la unidad de suministro eléctrico de emergencia y el sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) cumplen los requisitos actuales en cuanto a capacidad y calidad. Además, será necesario efectuar regularmente comprobaciones/pruebas funcionales del combustible.

En particular, la calidad del gasóleo puede disminuir debido a las condiciones meteorológicas y el envejecimiento.

Es igualmente muy importante reunir una serie de instrucciones operativas con una descripción exhaustiva de las labores de operación y mantenimiento (incluidos planes para el funcionamiento con suministro eléctrico de emergencia y ejercicios de simulacro). Durante el funcionamiento en modo de emergencia es necesario comprobar si todas las cargas previstas están recibiendo electricidad (utilizando una lista de verificación preparada; incluida conexión telefónica). Para tal fin, deberá designarse a una persona (si es posible, un encargado o encargada de la seguridad operativa) que sea responsable del funcionamiento y el mantenimiento del sistema de suministro eléctrico de emergencia.

# Requisitos específicos

Deberá especificarse y asegurarse el lugar de alojamiento. El acceso a las unidades de suministro eléctrico de emergencia portátiles deberá ser posible sin impedimentos. Cuando la unidad se ponga en servicio, deberá estar presente un electricista calificado para ejecutar un ensayo inicial en el marco de una operación aislada o un simulacro de suministro eléctrico de emergencia. La unidad de suministro eléctrico de emergencia deberá estar correctamente conectada a tierra con el fin de evitar que se disparen los disyuntores accionados por corriente residual. El etiquetado del equipo de distribución deberá ser de fácil comprensión.

Si la unidad de suministro eléctrico se va a utilizar potencialmente para más de una empresa/tipo de empresa:

- ▶ garantizar que en funcionamiento de emergencia cada usuario conectado puede obtener al menos la cantidad mínima de energía de la unidad de suministro eléctrico de emergencia definida con antelación;
- ▶ adoptar las medidas técnicas adecuadas para garantizar que, en funcionamiento de emergencia, cada usuario conectado puede obtener solo la cantidad máxima de energía de la unidad de suministro eléctrico de emergencia definida con antelación.

## 18. Requisitos de la protección contra rayos

El tema de la protección contra rayos en las plantas de biogás deberá gestionarse de conformidad con las normas nacionales y el riesgo de caída de rayos existente en la región. Se hace una distinción básica entre protección contra rayos externa e interna. La protección contra rayos interna sirve para prevenir los daños por sobretensión dentro de la instalación. La protección contra rayos externa mediante pararrayos sirve para desviar la caída de rayos que impactarían directamente contra la instalación protegida.

na) y una conexión equipotencial conforme. La experiencia obtenida hasta la fecha sugiere que la protección contra rayos externa (dispositivos de interceptación, supresor de tensión, sistema de conexión de tierra, etc.) por lo general no es necesaria.



### Medidas de protección de carácter técnico

Las plantas de biogás deberán contar al menos con protección contra rayos interna. Por consiguiente, la instalación eléctrica y los equipos de control electrónico, procesamiento de datos y telecomunicaciones deberán contar con un protector de sobretensiones (protección contra rayos inter-



### Medidas de protección de carácter organizativo

El tema de la protección contra rayos debería ser tenido en cuenta en la evaluación del peligro realizada para la construcción y la explotación de la planta de biogás.



Encontrará más información sobre la protección contra rayos en la norma DIN EN 62305.

## 19. Requisitos de las salas con partes de planta que transportan sustrato y/o gas

Entre las salas con partes de planta que transportan sustrato y/o gas se incluyen la sala de instalación de la unidad CHP, la estación de bombeo, etc.



### Medidas de protección de carácter técnico

#### Requisitos generales

Por norma general, las estaciones de mantenimiento y control y los controles de válvulas y de los equipos de agitación, bombeo y lavado deberían estar siempre situados por encima del nivel del suelo. De no ser posible, deberá proveerse una ventilación técnica adecuada, con al menos cinco cambios de aire por hora.

#### Requisitos de las salas de instalación de la unidad CHP

Si no es posible garantizar que todas las partes de la planta de transporte de gas que se encuentran dentro de las salas de instalación de la unidad CHP son técnicamente herméticas de forma permanente, deberán evitarse las fuentes de ignición y, de ser posible, deberán designarse zonas de protección contra explosiones. Las zonas de protección contra explosiones en las salas de instalación podrán restringirse o evitarse adoptando medidas adicionales, como un sistema de ventilación forzada con monitorización del caudal de aire o un dispositivo de advertencia de presencia de gas combinado con la ventilación. En función de la naturaleza del gas, el elemento detector del dispositivo de advertencia de presencia de gas debería montarse por encima de o en

# Requisitos específicos

las proximidades de posibles fuentes de liberación de gas, teniendo en cuenta los efectos del sistema de ventilación en sus diferentes estados operativos posibles. Las unidades de evaluación deberán instalarse fuera del área que es objeto de monitorización.

El sistema de ventilación forzada deberá contar con unas dimensiones que le permitan diluir el mayor volumen de gas posible en una concentración de gas máxima del 20 % de LIE en la sala de instalación.

Con un umbral de alarma del 20 % LIE (0,9 % v/v CH<sub>4</sub>) en el aire ambiente, la respuesta debería ser avisos visuales y acústicos y toma o extracción de aire con una potencia del 100 %.

Con, por ejemplo, un 40 % LIE (1,8 % v/v CH<sub>4</sub>) en el aire ambiente, la respuesta debería ser avisos visuales y acústicos, toma o extracción de aire con una potencia del 100 % e interrupción automática del suministro de gas fuera de la sala de instalación.

El dispositivo de advertencia de presencia de gas continúa funcionando después de que se haya sobrepasado el segundo umbral de alarma, es decir, no se desconecta.

Si se instala un sistema de ventilación técnica deberá garantizarse que el aire de escape se extrae del área del techo. El aire de escape deberá ser expulsado directamente a la atmósfera.

## CONSEJO

La sección transversal mínima libre "A" de la entrada/salida de aire de las salas de instalación de la unidad CHP se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$A = 10P + 175A = \text{sección transversal libre (cm}^2\text{)}$$

P = potencia eléctrica máxima declarada del generador, kW<sub>el</sub>

Ejemplos:

$$22 \text{ kW}_{el} = 395 \text{ cm}^2 \text{ y } 30 \text{ kW}_{el} = 475 \text{ cm}^2$$

## Otros requisitos de las salas de instalación de la unidad CHP

Las salas de instalación de la unidad CHP deberán presentar unas dimensiones que les permitan instalar, operar y mantener adecuadamente las unidades de cogeneración. Eso suele cumplirse cuando las unidades CHP son accesibles por tres lados. Las puertas deberán abrirse en la dirección de evacuación. Si las unidades CHP se operan dentro de contenedores, debería ser posible reemplazar posteriormente piezas sin dificultades. Los parámetros de caudal de aire prescritos por el fabricante de la unidad CHP deberían poder alcanzarse de manera fiable en la sala de instalación de la unidad CHP.

La unidad CHP deberá montarse sobre sus cimientos e instalarse de manera que la carga vibratoria de la unidad esté por debajo de los niveles de vibración admisibles para un funcionamiento continuo.

Para más información sobre las salas de instalación, consulte la norma DIN ISO 10816-6.



Los desagües del suelo deben contar con trampas de aceite. Como alternativa, deberá colocarse debajo del motor una cubeta para recoger todo el volumen de aceite.

Deberá ser posible apagar la unidad CHP en todo momento mediante un interruptor luminoso situado fuera de la sala de instalación. El interruptor deberá tener una etiqueta claramente visible y duradera con la inscripción "Interruptor de parada de emergencia – Unidad CHP" y deberá estar accesible. Los mismos requisitos se aplicarán a las válvulas de cierre de accionamiento eléctrico.

Deberán instalarse dos válvulas de cierre en el tramo ascendente de la línea de gas de cada unidad de motor. Las válvulas se cerrarán automáticamente cuando el motor se pare. Se hará un control regular de los intersticios para detectar fugas. Si la línea de suministro del motor presenta una presión ascendente constante > 5 mbares (5 hPa), incluso con el motor parado, será necesario un sistema automático de monitorización de los intersticios.

Las puertas deberán abrirse hacia afuera y tener cerradura.



## Medidas de protección de carácter organizativo

El dispositivo de advertencia de presencia de gas deberá someterse a mantenimiento de acuerdo con las instrucciones del fabricante y deberán ser probados regularmente, al menos una vez al año. Deberán redactarse instrucciones operativas para los casos en que la alarma sea activada por el dispositivo de advertencia de presencia de gas o un fallo en dicho dispositivo.



## Clasificación de zonas EX

Partes de la planta de transporte de gas técnicamente estancas combinadas con medidas de carácter organizativo adecuadas, inspección periódica para detectar fugas. Monitorización de la sala de instalación para detectar atmósferas potencialmente explosivas: p. ej. con un 20 % de LIE activación de la alarma y maximización de la potencia del ventilador (al menos cinco cargas de aire por hora), con un 40 % de LIE, interrupción automática del suministro de gas. **No** es necesaria la **zonificación**.

# Inspecciones y pruebas

Con vistas a lograr que la explotación de la planta sea segura de forma permanente, deberán llevarse a cabo tanto una inspección y prueba iniciales como, posteriormente, inspecciones y pruebas periódicas de toda la planta, partes de la planta y la documentación.

Las inspecciones y pruebas pueden dividirse en los siguientes segmentos independientes:

- ▶ seguridad estructural
- ▶ protección contra explosiones
- ▶ sistemas presurizados
- ▶ instalaciones eléctricas
- ▶ protección de los recursos hídricos
- ▶ control de la contaminación
- ▶ seguridad funcional
- ▶ protección contra incendios
- ▶ organización empresarial

Las inspecciones y pruebas deberán ser llevados a cabo por expertos especialmente formados o por personas calificadas para este fin. Además de la formación y los conocimientos específicos necesarios (incluida experiencia profesional en el campo del biogás), los inspectores deberán tener a su disposición los equipos de pruebas e inspección necesarios. Deberá acreditarse el cumplimiento de estos requisitos.

Teniendo debidamente en cuenta los requisitos nacionales respectivos, se recomiendan los siguientes tipos de inspección y pruebas para las plantas de biogás:

1. Inspección documental: controles para verificar que la documentación está completa, es correcta y actual.
2. Inspección visual y prueba funcional: controles para verificar que las precauciones de índole técnica y organizativa están completas, son correctas y siguen el orden de trabajo adecuado.

## CONSEJO

Dado el elevado número de diferentes inspecciones y prueba que deben repetirse periódicamente, tiene sentido elaborar un plan de inspecciones y pruebas en el que se muestren todas las inspecciones y pruebas necesarias, así como los datos de contacto del inspector/ingeniero de pruebas requerido en cada caso.

La Asociación Alemana de Biogás considera que las siguientes inspecciones in situ y pruebas en las plantas de biogás son el requisito mínimo que debe exigirse (véase la Tabla 7).

**Tabla 7: Inspecciones y pruebas mínimas recomendadas por la Asociación Alemana de Biogás**

Objeto de prueba	Frecuencia de prueba
Extintores	Cada 2 años
Equipos de seguridad (p. ej. equipo de advertencia de presencia de gas, sistemas de ventilación y equipo de inertización)	Al menos una vez al año
Aparataje, sistemas de protección y sistemas de seguridad	Cada 3 años
Pruebas de protección contra explosiones (en general)	Antes de la puesta en servicio y periódicamente al menos cada 6 años
Inspección para verificar el cumplimiento de la legislación sobre el agua	Antes de la puesta en servicio, luego cada 5 años, en áreas de protección de las aguas, cada 2,5 años
Pruebas relacionadas con la seguridad	Antes de la puesta en servicio, luego cada 3 o 5 años (en función de autorización)
Pruebas eléctricas del equipo de distribución/inspección "E-Check"	Cada 4 años
Depósitos a presión	Inspección externa cada 2 años Inspección interna cada 5 años Prueba de resistencia cada 10 años

Los resultados de las inspecciones y pruebas deberán documentarse en un informe de pruebas, en el que se deberá incluir la siguiente información:

1. Identificación de la planta
2. Fecha de la inspección o prueba
3. Tipo de inspección o prueba
4. Base de la inspección o prueba
5. Alcance de la inspección o prueba
6. Eficacia y función de las medidas de protección adoptadas
7. Resultado de la prueba y fecha de la siguiente prueba de frecuencia periódica
8. Los registros y certificados de prueba deberán conservarse en el lugar de la planta que es objeto de monitorización durante todo el período de uso de la planta. Además, se recomienda guardar una copia en un lugar diferente.

# Depuración del biogás

El biogás en bruto producido en la planta se somete a un proceso de lavado básico antes de ser utilizado en la unidad CHP (véase la Figura 13). En general, consiste en deshidratación (secado), reducción de  $H_2S$  y la eliminación de los sólidos en suspensión. Sin embargo, si el biogás está destinado a ser utilizado como sustituto del gas natural, como combustible o de forma comprimida en cilindros de presión, será necesario otro proceso de depuración del gas, que comprende principalmente la separación del metano y el dióxido de carbono y la reducción adicional de constituyentes gaseosos no deseados ( $H_2S$ ,  $NH_3$  y otros gases traza). Para la depuración del biogás es necesario una instalación técnica adicional, cuyos aspectos en materia de seguridad se explican a continuación.

Dado que el biogás en bruto es una mezcla de varios constituyentes deseables e indeseables, será necesario un proceso de lavado básico y de lavado fino. El proceso de lavado básico del biogás en bruto suele llevarse a cabo en la planta generadora de biogás (digestor), y el proceso de lavado fino o purificación, en la planta de depuración del biogás.

Con el fin de adaptar el biogás depurado (biometano) a los estándares de calidad de la red de gas natural y/o los requisitos de los consumidores de gas natural (vehículo propulsado con gas natural, quemador de gas, unidad CHP, etc.), deberá llevarse a cabo un proceso de acondicionamiento adicional (por ejemplo, ajuste del contenido de metano y del valor calorífico, etc.), en función de las normativas nacionales. Este tratamiento se realiza en las plantas de depuración del biogás. Antes de que el biometano enriquecido sea inyectado en la red de gas natural especificada, es necesario ejecutar otros pasos: ajuste de la presión, protección contra la presión, medición de gas y, en caso necesario, odorización. En función de los requisitos nacionales respectivos (leyes,

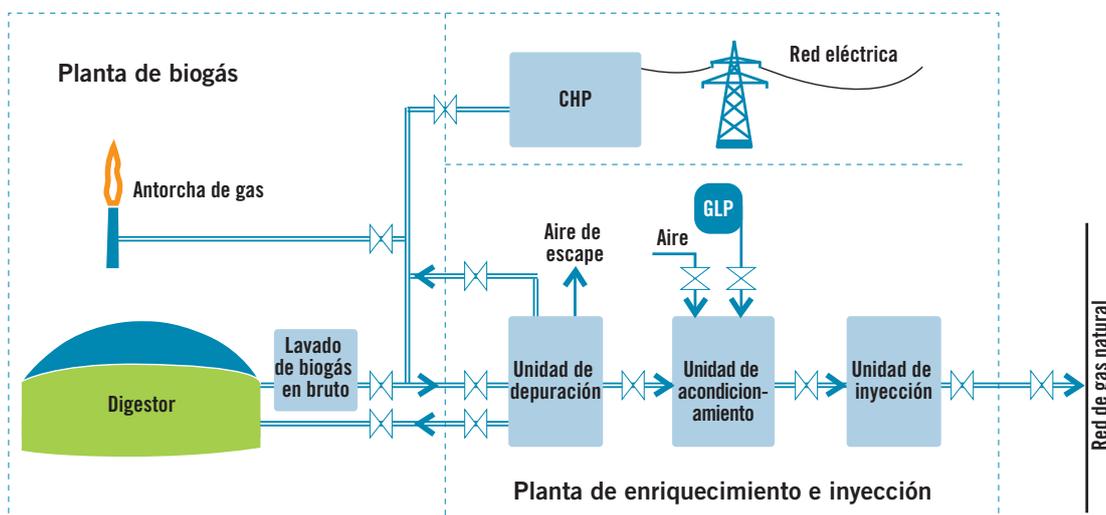


Unidad de depuración del biogás

ordenanzas y conjuntos de normas), diferentes partes de la planta de enriquecimiento de biogás podrán tener diferentes operadores y estar sujetas a grupos de interés con diferentes áreas de competencia: el operador de la planta de biogás, el suministrador de gas/operador de la red de gas y/o las autoridades competentes. Deberán definirse las responsabilidades en las diversas partes de la planta de acuerdo con esas áreas de competencia y fijarse por escrito.

Las cualificaciones relevantes obtenidas por los operadores responsables y el personal designado para el trabajo también deberán satisfacer los requisitos nacionales. Lo mismo será de aplicación para las empresas especializadas que participen en la planificación, construcción, operación y mantenimiento de las plantas. Deberían ser obligatorias las medidas de formación regulares para mantener al día

Figura 13: Diagrama del flujo de proceso de una planta de enriquecimiento y de inyección de biometano



# Depuración del biogás

los conocimientos técnicos con los últimos hallazgos y requisitos técnicos. Por motivos organizativos, se aconseja elaborar un plan de la estructura organizativa de la planta en su conjunto. Además, debería elaborarse un plan de los procedimientos organizativos (registro de fallos: comprobación, causas, etc.) junto con la documentación operativa (sesiones informativas, inspecciones, pruebas, incidentes, instrucciones de trabajo, etc.).

In addition, a plan of organisational procedures should be drawn up (recording of faults: checking, causes etc.) along with operational documentation (briefings, inspections, tests, incidents, work instructions etc.).



## **Se debe documentar:**

- ▶ *sesiones de información e instrucción impartidas*
- ▶ *inspecciones y pruebas*
- ▶ *incidentes*
- ▶ *instrucciones de trabajo*



## **Medidas de protección de carácter técnico**

La odorización (adición de una sustancia olorosa como advertencia) del gas natural/biometano constituye una importante medida de seguridad porque el gas natural/biometano depurados son casi siempre inodoros. A fin de garantizar la detección inmediata de las fugas en las tuberías o partes de las instalaciones de gas de interior, al gas natural/biometano se les añaden por motivos de seguridad olores de advertencia prescritos específicamente. Por consiguiente, el olor del gas odorizado no deberá ser un olor familiar propio del día a día de las personas, por ejemplo como los que se generan en las cocinas o en el ámbito doméstico.

El biometano deberá adaptarse de conformidad con los requisitos de odorización de la red de gas a la que sea inyectado. Esto generalmente implica el uso de compuestos orgánicos de azufre altamente volátiles, con un olor característico, como por ejemplo el tetrahidrotiofeno (THT), que huele a huevos podridos, y mezclas de mercaptano.

Deberán observarse las normativas nacionales de cara a la planificación, construcción y mantenimiento del sistema de tuberías en las plantas de biometano y en las áreas externas, así como a la hora de seleccionar los materiales. Todas las labores de este tipo deberán ser realizadas siempre por personal especialmente formado.

La elección de los componentes de la planta deberá efectuarse de conformidad con las condiciones prácticas en la planta (calidad del gas, constituyentes corrosivos del gas, presión interna, clima, ubicación geográfica). La deformación potencial, la desviación y la expansión lineal deberán ser tenidas en

cuenta a la hora de instalar las tuberías, de conformidad con las normas específicas del lugar. Si cabe esperar la formación de condensado (aplicable principalmente a las tuberías de biogás), las tuberías deberán tenderse en pendiente y equiparse con separadores de condensado en los puntos más bajos de la instalación. Resulta especialmente importante que los puntos de entrada al edificio para las tuberías de gas sean resistentes a la corrosión y no estén sometidos a tensión. Las tuberías de transporte de gas deberán contar siempre con protección contra la corrosión, protección contra la ignición y conexión equipotencial, y deberán estar claramente identificadas mediante código de color o etiquetado.

Si las tuberías de gas se exponen potencialmente a daños mecánicos (por ejemplo derivados de vehículos u otros agentes del tráfico), deberán estar protegidas convenientemente mediante defensas protectoras contra impactos por colisión. Si las tuberías de gas se tienden sobre un terreno perteneciente a un tercero o de propiedad pública, deberán tenerse en cuenta los permisos/las licencias para atravesar el terreno (p. ej. carreteras y líneas de ferrocarril) y tender las tuberías. Las tuberías de gas deberán examinarse para garantizar que están en perfectas condiciones antes de su instalación. Deberán observarse las directrices nacionales relativas al recubrimiento de tuberías, trazado de tuberías y llenado de la zanja de la tubería (p. ej. en pendientes).

Las tuberías de gas deberán ser sometidas a una prueba de presión después de la instalación inicial y después de cualquier cambio significativo, prestando la debida consideración a las normas pertinentes (procedimiento de prueba, duración de la prueba, medio de la prueba, presión de la prueba, persona autorizada para realizar la prueba, etc.). Si la presión operativa cambia durante el uso, deberán seguirse las normas relevantes en tales circunstancias.

Cuando se realiza una actividad en la instalación de gas, esta deberá despresurizarse de forma segura hacia el aire



## **Documentación para tuberías:**

- ▶ *detalles del diseño de las tuberías de gas (presión, diámetro nominal, etc.);*
- ▶ *registros del análisis estructural;*
- ▶ *certificado de competencia de las empresas ejecutoras;*
- ▶ *bocetos y planos de trabajo actuales del inventario presente de instalaciones y equipos;*
- ▶ *libro de tuberías (documentación de los trabajos de soldadura, verificación de los requisitos de calidad);*
- ▶ *informes de las pruebas/certificado de aceptación.*

libre y deberá inertizarse. Deberá realizarse una medición de la distancia de aislamiento antes de trabajar en la instalación de gas con el fin de descartar zonas EX peligrosas. Después de las labores de mantenimiento/repación y antes de reanudar las operaciones, la unidad relevante deberá ser objeto de una prueba para detectar fugas y una prueba funcional. Las pruebas necesarias deberán ser realizadas por profesionales calificados y deberán ser documentadas. Si es necesario, deberá eliminarse el oxígeno contenido en el sistema de gas y el sistema deberá ser depurado con gas de proceso antes de reanudar las operaciones. La reanudación de las operaciones deberá ser acordada y coordinada con las personas responsables de las partes de la planta ubicadas en sentido ascendente y descendente.

Solamente las empresas especializadas/trabajadores calificados autorizados podrán realizar trabajos de soldadura en las tuberías y sistemas de transporte de gas. En las normas nacionales (en Alemania: DVGW GW 350 y G472) se ofrecen descripciones detalladas de los equipos, dispositivos, pruebas de los procedimientos, realización de los trabajos de soldadura y pruebas de las soldaduras. Los trabajos de soldadura en partes de la planta que transportan gas no estarán permitidos en las salas de instalación (se pueden hacer excepciones en casos justificados). Se deberán observar las normas nacionales relevantes cuando los trabajos se lleven a cabo en partes de plantas presurizadas.



## Medidas de protección de carácter organizativo

Si cabe esperar que se forme condensado, deberá efectuarse un mantenimiento y limpieza regulares de las tuberías y los sistemas de descarga de condensado. Las tuberías situadas por encima del nivel del suelo deberán ser revisadas con una periodicidad anual para detectar fugas. Deberían planificarse intervalos más cortos para los compensadores y otros componentes especializados en los casos en que sea necesario (evaluación del peligro). Cada dos años, las tuberías tendidas sobre el nivel del suelo (incluida la protección de las tuberías) deberían revisarse para garantizar que están en buenas condiciones y para detectar si hay corrosión externa. Si es necesario, deberá repararse la protección UV de las tuberías de plástico.

Deberá realizarse un mantenimiento y una revisión de las plantas de biometano y sus componentes de acuerdo con las instrucciones del fabricante (método, intervalos, etc.). Básicamente se distingue entre tres tipos de mantenimiento:

- ▶ mantenimiento planificado (intervalos fijos)
- ▶ mantenimiento basado en las condiciones (tras evaluación del estado de la planta)
- ▶ mantenimiento correctivo (iniciado porque se ha producido un fallo)

*Antes de que se lleve a cabo cualquier labor de mantenimiento, será necesaria una evaluación del peligro individual, con medidas de protección específicas. Esto deberá acordarse con todos los operadores de planta (producción de biogás, limpieza, acondicionamiento e inyección).*



Todas las personas designadas para desempeñar labores de mantenimiento en las instalaciones deberán estar cualificadas, autorizadas y ser personas de confianza, y deberán haber sido especialmente instruidas. Esto es aplicable tanto al personal propio de la planta como a empresas y trabajadores externos. La normativa alemana establece, por ejemplo, que determinadas actividades, concretamente las pruebas funcionales, el mantenimiento, las reparaciones y la reanudación de las operaciones, deberán ser realizadas siempre por dos personas, debiendo tener al menos una de ellas los conocimientos técnicos necesarios y la otra haber recibido al menos la instrucción pertinente.

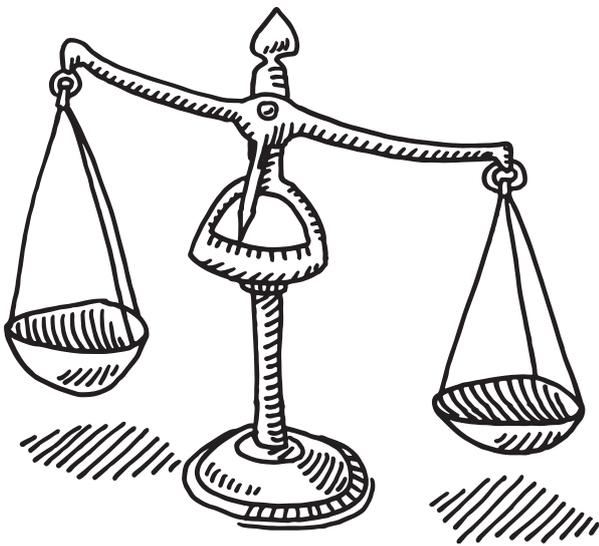
Las labores de mantenimiento y reparación deberán prepararse de forma sistemática. Esto significa que deberá ponerse a disposición los equipos de protección necesarios (p. ej. protección respiratoria, dispositivos de advertencia, extintores, etc.). Asimismo, es aconsejable elaborar un programa de trabajo y un plano sinóptico en el que figuren claramente todas las actividades y componentes de la planta relevantes. En los casos en que sea necesario, los procesos automatizados en el sistema deberán conmutarse al funcionamiento manual antes de llevar a cabo labores de mantenimiento o reparación.

Deberá designarse a una sola persona para que sea responsable de la operación segura y de la seguridad de la planta, y se le concederán las facultades necesarias. A fin de evitar peligros, deberá organizarse un servicio de guardia en la propia planta o a través de un proveedor de servicios externo, de modo que se garantice un servicio de guardia constante (24 h/7 días). En Alemania, por ejemplo, el servicio de guardia deberá estar presente en la planta en un tiempo máximo de 30 minutos para poder actuar a su debido tiempo en caso de fallo. Los sistemas de instrumentación y control (I&C) deberán ser revisados por un profesional calificado al menos una vez al año y después de cada operación de mantenimiento para garantizar que están en condiciones de funcionar correctamente. El operador de la planta deberá elaborar un plan de pruebas para este fin.

Todas las pruebas, informes de medición, etc. deberán documentarse por escrito o en formato electrónico y conservarse durante el tiempo que sea necesario (al menos dos intervalos de mantenimiento). Los cambios estructurales en la planta deberán documentarse. Otras pruebas deberán realizarse de conformidad con los requisitos generales de pruebas para plantas de biogás (seguridad eléctrica, protección contra explosiones, etc.).

# Recomendaciones para la operación segura

**D**ado que el biogás está regulado por ámbitos legislativos muy diferentes (agricultura, gestión de residuos, industria energética, salud y seguridad laboral, etc.) y se trata de una tecnología relativamente novedosa, en muchos países no hay competencias específicas sobre el biogás ni leyes, ordenanzas o reglamentos. Esto mismo es aplicable especialmente al campo de la normalización internacional, donde se están haciendo los primeros esfuerzos para desarrollar un conjunto de normas y estándares para el biogás (ISO TC 255 “Standardisation in the field of biogas” (Normalización en el campo del biogás)).



FUENTE: ISTOCK\_FRANK RAMSPOTT

Las asociaciones industriales ya instauradas y de reconocido prestigio tienen un papel sumamente importante a la hora de acordar, desarrollar, introducir e implementar normas específicas de seguridad. Los intereses y necesidades de los grupos de interés en la industria del biogás pueden, por consiguiente, agruparse para surtir más efecto y alcanzar el nivel máximo de aceptación establecido. La Asociación Alemana de Biogás, por ejemplo, ha organizado debates sobre el tema de la seguridad en el seno de su propio grupo de trabajo dedicado a la seguridad desde que se fundó la asociación, y ha formulado recomendaciones en consonancia. El grupo de trabajo está compuesto por expertos que trabajan con carácter voluntario desinteresado, procedentes de varios campos relacionados con la seguridad de la industria del biogás. El grupo de trabajo brinda apoyo a la Asociación Alemana de Biogás y sus miembros a la hora de tratar con cuestiones y problemas.

En el contexto internacional, existen muy diversas formas de abordar las consecuencias de accidentes. En algunos países, cualquier accidente, aunque sea de poca importancia, es registrado y tomado en serio, y se reconstruyen

las causas para evitar los accidentes en el futuro en la medida de lo posible. En esos países, las plantas de biogás actualmente se operan en su mayoría de forma segura. No es el caso en otros países; demasiado a menudo, se tiende a seguir el principio de “la vida es barata”. A las personas encargadas no se les exige responsabilidades de forma consistente. Estas diferencias en la cultura de la seguridad son un factor crucial para la operación segura de las plantas. Los esfuerzos para establecer e implementar las normas relativas a la operación del biogás deberían aplicarse con el máximo rigor posible en todos los países.

Un elemento altamente significativo del marco legal que tiene por objeto garantizar la operación segura del biogás es el tema de la responsabilidad. En numerosos países, cuando se produce un accidente se lleva a cabo una investigación muy exhaustiva de las causas del accidente y de las personas responsables. Si el accidente es grave, suelen participar en la investigación la policía, peritos, el cuerpo de bomberos, la organización de accidentes laborales de la empresa y otras instituciones. La cuestión de quién debe responder económicamente por los daños es también un tema relevante para las compañías de seguros. Si se han ignorado las normas y disposiciones, las personas responsables podrán tener que asumir penas graves (de carácter económico o incluso de cárcel).

Lamentablemente, en un gran número de países el tema de la responsabilidad no se ha definido o las normas y disposiciones no se aplican de forma coherente. Una recomendación bastante importante sería, por lo tanto, que en todos los países donde se explotan plantas de biogás es esencial definir quién es responsable en caso de accidente. Estas normas deberán aplicarse con rigor.

Con frecuencia se da el caso de que el operador de plantas de biogás asume un alto grado de responsabilidad. Es responsable de que se haga una explotación segura de la planta y generalmente debe responder personalmente. Si las obras de construcción se han ejecutado de forma insatisfactoria, se ha concedido la autorización de forma indebida o se han violado otras normas y disposiciones, también podría responsabilizarse a otras compañías o instituciones.

# Recomendaciones para la operación segura

---

## 1. Recomendaciones en relación con el marco legal

---

- ▶ Con el fin de prevenir traslapes con temas relativos a la seguridad y áreas de competencia, preferentemente se deberá tratar el asunto de la seguridad en las plantas de biogás con un único ministerio y sus autoridades y agencias asociados.
- ▶ En Alemania, todos los aspectos legales relativos a la construcción, la gestión de residuos, el medio ambiente y la salud y la seguridad laboral e industrial que son relevantes para la construcción y la explotación de una planta de biogás se examinan como parte del proceso de concesión de licencia para plantas de biogás. Sin embargo, en muchos países no existe un instrumento legal que proporcione una inspección igual de exhaustiva y aprobación normativa.
- ▶ Si se crean estructuras en los nuevos mercados del biogás que establezcan procedimientos de concesión de licencia exhaustivos o incluso específicos de las plantas de biogás, sería particularmente importante incluir aspectos funcionales y relacionados con la seguridad (como planificación de expertos, diseño de la planta, elección de componentes, etc.) en el proceso de concesión de licencia. Esto podría, asimismo, ser revisado por expertos técnicos, si fuera poco realista que se realicen inspecciones oficiales por parte del Gobierno.
- ▶ Con el fin de minimizar o prevenir problemas con procedimientos diferentes o no coordinados para la concesión de licencias y la supervisión de las plantas de biogás, es de enorme importancia que las plantas de biogás reciban un tratamiento igual en todo el país. Por lo tanto, es aconsejable desarrollar un marco regulador uniforme aplicable a nivel nacional (ley, ordenanza o código técnico). El marco regulador debería definir un conjunto de los últimos avances tecnológicos para las plantas de biogás que se ajuste a los requisitos internacionales. Debería incluir todos los requisitos relevantes en un cuerpo central de normas y disposiciones, ser de fácil acceso y fácilmente comprensible, y debería actualizarse periódicamente.
- ▶ Con el fin de garantizar la explotación segura de las plantas de biogás, se aconseja considerar la introducción de un sistema de peritos para las plantas de biogás para examinar las licencias de las plantas y que puedan supervisar la planificación, construcción y explotación de las plantas de biogás en el momento de su puesta en servicio y en intervalos periódicos. Las experiencias recabadas de los dictámenes periciales deberían recopilarse y analizarse. Los resultados podrán entonces constituir la base de cualquier ajuste que deba efectuarse en el marco regulador.
- ▶ Deberán registrarse las experiencias de casos de daños o accidentes y, entonces evaluarse sobre la base de criterios uniformes. Los resultados también podrán proporcionar información valiosa a la hora de encontrar soluciones a problemas y proporcionar oportunidades de optimización. Los últimos hallazgos y conocimientos de la industria del biogás deberían hacerse fácilmente accesibles en publicaciones regulares y fichas de información técnica, así como en conferencias.
- ▶ Para garantizar la explotación segura de las plantas de biogás, tiene sentido cumplir las normas y directrices europeas que se citan en la presente publicación, como por ejemplo la norma DIN EN 60529 (Grados de protección proporcionados por las envolventes (código IP)).
- ▶ La cooperación de carácter constructivo y positivo entre planificadores, operadores, autoridades y asociaciones nacionales de biogás (mediante grupos de trabajo, documentos de posición, intercambio de experiencia

## 2. Formación en la industria

---

- ▶ Operators of biogas plants should have completed recognised operator training and safety training prior to start-up. The content of this training should be chosen according to plant-specific parameters (size, substrates etc.) and national regulations.
- ▶ The operators' previously acquired expert knowledge in the field of biogas should be refreshed at regular intervals.
- ▶ Specialised companies involved in planning, construction, operation and maintenance should be able to call upon defined and verifiable expert knowledge, which should also be regularly refreshed.
- ▶ Work on dangerous parts or components should be performed by qualified and if necessary supervised specialised companies.

## Anexo 1: Evaluación del peligro

Información general sobre la planta de biogás						
Operador:			Tarea asignada [fecha]:			
			Número de empleados:			
Fecha:						
Personas implicadas en la evaluación del peligro:						
Firmas:						
1. Parte general						
1.1 Peligros en general: organización						
Área de actividad	Peligro	Medida de protección	Realizada			Implementada ¿quién? / ¿cuándo?
			Sí	No	No necesaria	
Responsabilidad	Las tareas, responsabilidades y competencias no están claras u organizadas correctamente.	El operador es responsable de todas las tareas, responsabilidades y competencias. Se documentan las desviaciones.  Las empresas externas son instruidas por el operador.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Selección de trabajadores	Contratación de personas no cualificadas (daños para la salud, daños a los bienes).	Identificación de aptitud profesional antes de contratación.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		Se han definido y se tienen en cuenta criterios de selección de la empresa (p. ej. educación).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		Se verifican los permisos de conducción necesarios.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		Los nuevos empleados reciben formación de inducción.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Trabajo sin estudios ni formación adecuados	Poner en peligro a uno mismo, a otros empleados y empleadas o a otras personas.	Solo empleados con formación continua adecuada realizan las tareas relevantes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		Los empleados participan en medidas de formación continua relevantes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		Solo están contratadas personas aptas y formadas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Instrucción en seguridad	No reconocimiento de peligros o no consideración de las medidas de protección.	Los empleados reciben instrucción relativa a posibles peligros y medidas de protección antes de empezar a trabajar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Horario laboral	El horario laboral, el tiempo de descanso y las pausas no se cumplen.	Las horas de trabajo básicas deben respetarse.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		Las pausas deben respetarse.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Primeros auxilios	Falta de primeros auxilios tras accidente o enfermedad repentina	Se dispone de material de primeros auxilios.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		Se conocen los números de teléfono de emergencias.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		El personal formado en primeros auxilios está localizable y disponible.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

## Anexo 2: Formulario de instrucción para subcontratistas y empleados para las labores de mantenimiento, instalación y reparación

<b>Ubicación/lugar de trabajo</b> (p. ej. planta)	PLANTA DE BIOGÁS .....	
<b>Orden de trabajo</b> (p. ej. reparación de agitador)	..... Cliente/empleador responsable.....	
<b>Período de trabajo</b>	Fecha ..... del ..... a la fecha de finalización prevista .....	
	<input type="checkbox"/> Consulta sobre situación actual necesaria diariamente antes de comenzar el trabajo	
<b>Tipo de trabajo/orden de trabajo</b>	<input type="checkbox"/> Soldadura por arco eléctrico ..... <input type="checkbox"/> (Gas inerte)..... <input type="checkbox"/> (Varilla para soldar) ..... <input type="checkbox"/> Soldadura oxiacetilénica/soldadura fuerte..... <input type="checkbox"/> (Oxi) Corte ..... <input type="checkbox"/> Amolado/Corte con amoladora angular ..... <input type="checkbox"/> Otros: .....	
<b>Ejecutado por</b>	<input type="checkbox"/> Empresa externa: Director/a responsable en planta de la empresa extern: ..... <input type="checkbox"/> Miembro de plantilla propio de la planta de biogás: .....	<input type="checkbox"/>
	El contratista cuenta con los conocimientos técnicos exigidos	<input type="checkbox"/>
<b>Ejecutado por</b>	Si los empleados de otros empleadores están expuestos a altos niveles de peligro, los empleadores afectados deberán designar a un coordinador por escrito para acordar las medidas de protección: Coordinador: .....	<input type="checkbox"/>
	Trabajo de mantenimiento realizado conforme a la evaluación del peligro.	<input type="checkbox"/>
	El contratista ha informado al cliente y a otros empleadores sobre los peligros que supone este trabajo para los empleados y empleadas del cliente y de otros empleadores.	<input type="checkbox"/>
	Equipos de protección personal: selección y, si procede, uso obligatorio (calzado de seguridad, protección auditiva, protección contra caídas, ropa ignífuga, ropa de protección contra productos químicos, guantes protectores, gafas protectoras, mascarilla de respiración, etc.).	<input type="checkbox"/>
	Observancia de las señales de información, señales obligatorias y señales de prohibición.	<input type="checkbox"/>
	<b>Nota:</b> En el área de recepción del equipamiento, puede haber presentes depósitos tóxicos, muy tóxicos, carcinógenos, mutagénicos o reprotóxicos como resultado de añadir aditivos y materiales auxiliares (p. ej. oligoelementos). En ese caso, es necesario seguir las estipulaciones de la ficha de datos de seguridad, especialmente en lo relativo al equipo de protección personal, y se deberá designar para esta labor solamente a personal apto y debidamente instruido.	<input type="checkbox"/>
	¿Maquinaria asegurada para prevenir un arranque accidental y debidamente etiquetada?	<input type="checkbox"/>
	<b>Nota:</b> A menudo no hay conexión con la red de telefonía móvil dentro de los tanques de acero y de hormigón armado.	<input type="checkbox"/>
	Transporte y vías de evacuación libres y despejadas.	<input type="checkbox"/>
	Extintores, maletín de primeros auxilios y cuadros de distribución eléctricos no bloqueados.	<input type="checkbox"/>

# Anexos

<b>Inducción laboral</b>	Procedimientos de trabajo, posibles peligros, uso adecuado de precauciones de seguridad y equipos de protección ambiental discutidos. Plan de emergencia distribuido.	<input type="checkbox"/>
	Todo el trabajo encomendado realizado siempre bajo supervisión. Prohibido el trabajo en solitario sin supervisión.	<input type="checkbox"/>
	Atención dirigida a las áreas con atmósfera potencialmente explosiva.	<input type="checkbox"/>
	Atención dirigida a posibles peligros ocultos (p. ej. energía residual, cables/tuberías ocultos, equipos para trabajos en altura, tuberías presurizadas, etc.).	<input type="checkbox"/>
	No puentear o manipular equipos de seguridad sobre máquinas o edificios (p. ej. puentear conectores de contacto orientados a la seguridad, bloqueo de puertas contra incendios, etc.).	<input type="checkbox"/>
	Se informará inmediatamente de cualquier deficiencia (en materia de seguridad laboral) detectada al jefe de explotación de la planta.	<input type="checkbox"/>
	Información sobre sustancias peligrosas presentes, p. ej. basada en las fichas de datos de seguridad:	<input type="checkbox"/>
	▶ Aditivos y materiales auxiliares (oligoelementos, etc.)	<input type="checkbox"/>
	▶ Líquidos inflamables	<input type="checkbox"/>
	▶ Materiales inflamables (sólidos, polvos, materiales aislantes)	<input type="checkbox"/>
	▶ Riesgo de explosión derivado de gases/vapores	<input type="checkbox"/>
	▶ Peligro de asfixia derivado de gases CO <sub>2</sub> que desplazan el oxígeno	<input type="checkbox"/>
	▶ Peligro de intoxicación por gases tóxicos como el H <sub>2</sub> S y el NH <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/>
	▶ Otras sustancias peligrosas .....	<input type="checkbox"/>
	Áreas de trabajo que deben asegurarse con barreras y avisos de modo que nadie esté en peligro.	<input type="checkbox"/>
	Cumplimiento de las instrucciones de uso, p. ej. para cargadoras, maquinaria y equipos sobre ruedas.	<input type="checkbox"/>
	Prohibición del consumo de alcohol y estupefacientes.	<input type="checkbox"/>
	Prohibición de fumar en todas las áreas señalizadas.	<input type="checkbox"/>
Se ha explicado cómo utilizar herramientas eléctricas, escaleras de mano, etc. de forma segura, se ha llamado la atención sobre la necesidad de realizar una inspección visual antes del uso.	<input type="checkbox"/>	
Explicadas las medidas de emergencia para incidentes que supongan un riesgo medioambiental.	<input type="checkbox"/>	
<b>Otros:</b>	<input type="checkbox"/>	
<b>Equipos de trabajo obligatorios y equipos de seguridad laboral</b>	<input type="checkbox"/> Escaleras de mano, ayudas para trepar	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Protección contra caídas	
	<input type="checkbox"/> Casco	
	<input type="checkbox"/> Protección auditiva	
	<input type="checkbox"/> Protección ocular	
<input type="checkbox"/> Lámparas especiales (clase de protección IP, ¿ATEX?)	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Medios de comunicación especiales (clase de protección IP, ¿ATEX?)		
<input type="checkbox"/> Equipos elevadores especiales para herramientas y cilindros de gas de soldadura		
Provisión de una estación de rescate con equipos de rescate/recuperación.		<input type="checkbox"/>
Provisión de equipamiento de primeros auxilios.		<input type="checkbox"/>
Botella lavaojos, desinfectante de heridas, kit de primeros auxilios para quemaduras.	<input type="checkbox"/>	

<b>Medidas especiales para prevenir daños durante el trabajo en lugares donde se generan chispas</b>	Se dispone del siguiente certificado de competencia (p. ej. certificado del soldador para labores de soldadura en tuberías de gas): .....	<input type="checkbox"/>
	Retirada de objetos y materiales inflamables, incluidos depósitos de polvo, dentro de un radio de ..... m.	<input type="checkbox"/>
	(también en espacios adyacentes = ¿resistente al vapor? ¿conductos vacíos, conductos de cables, puertas, conductos de ventilación?)	<input type="checkbox"/>
	¿Biogás eliminado de las áreas vulnerables?	<input type="checkbox"/>
	Todos los objetos inflamables en riesgo cerca de y debajo del lugar de trabajo están cubiertos.	<input type="checkbox"/>
	Sellado seguro de aberturas, tuberías y lugares de tránsito a áreas adyacentes y tanques en situación de riesgo conectados al sistema de gas.	<input type="checkbox"/>
	Eliminación de materiales de revestimiento y aislamiento potencialmente inflamable.	<input type="checkbox"/>
	Establecimiento de conexión equipotencial (set antiestático) y humidificación.	<input type="checkbox"/>
	<b>PRECAUCIÓN:</b> Hay que prestar especial atención a los pequeños incendios secundarios causados por cordones de soldadura y chispas de amoladora angular.	<input type="checkbox"/>
	¿Eliminación del riesgo de explosión en tanques y tuberías mediante inertización de las tuberías con N <sub>2</sub> o CO <sub>2</sub> ?	<input type="checkbox"/>
	Ventilación de protección, ventilación activa significativamente por debajo de LIE Potencia ventilador: ..... m <sup>3</sup> /h Espacio a ventilar: ..... volumen m <sup>3</sup> Tubo de ventilación (manguera para ventilación en espiral) ..... m de largo (distancia del punto de entrada de aire fresco a zona EX/punto de salida de gas)	<input type="checkbox"/>
	Purga/extracción de gases (uso exclusivo de ventiladores protegidos contra explosiones /ATEX, p. ej. tomar prestados del cuerpo de bomberos).	<input type="checkbox"/>
	Medición de la distancia de separación con un detector de gas (p. ej. monitor de gas multicanal) por un experto: ¿batería cargada, revisada y lista para entrar en funcionamiento, etc.? Medición de la atmósfera en el área de trabajo con distancia de seguridad adecuada, p. ej. CH <sub>4</sub> < 0,5 %; O <sub>2</sub> > 20 %, CO <sub>2</sub> < 0,5 %, H <sub>2</sub> S < 10 ppm, NH <sub>3</sub> < 5 ppm	<input type="checkbox"/>
Provisión de un sistema de vigilancia de incendios con equipo de extinción.	<input type="checkbox"/>	
<b>Equipo de primera respuesta para combatir incendios incipientes</b>	<input type="checkbox"/> Extintores (nota: ¡Si es posible, tener varios agentes extintores diferentes preparados!) <input type="checkbox"/> agua <input type="checkbox"/> espuma <input type="checkbox"/> CO <sub>2</sub> <input type="checkbox"/> Polvo seco ABC <input type="checkbox"/> polvo seco BC <input type="checkbox"/> ¿manguera de agua (conectada) con boquilla rociadora?	
<b>Autorización</b>	<b>The listed safety measures are to be implemented.</b> Deberán observarse las disposiciones pertinentes sobre seguridad y salud industrial, materiales peligrosos y prevención de accidentes (en Alemania: BetrSichV (Reglamento sobre seguridad industrial), GefStoffV (Reglamento sobre sustancias peligrosas), TRGS 529 (Reglas técnicas sobre sustancias peligrosas) y DGUV (Seguro legal alemán de accidentes)). En particular, la norma DGUV 113-001 (antiguamente BGR 117-1) se aplica para inspeccionar y trabajar en tanques, digestores, pozos, cámaras y espacios angostos bajo el nivel del suelo.	
..... Fecha	..... Firma del empleador/operador responsable de la planta de biogás	..... Firma de la persona que lleva a cabo el trabajo



## Asociación Alemana de Biogás

Angerbrunnenstraße 12  
85356 Freising, Alemania  
Teléfono: +49 8161 9846-60  
Fax: +49 8161 9846-70  
Correo electrónico: info@biogas.org  
URL: www.biogas.org

La Asociación Alemana de Biogás engloba a operadores, fabricantes y planificadores de plantas de biogás, representantes del mundo de la ciencia y la investigación y todas aquellas personas interesadas en la industria. Desde que se fundó en 1992, la Asociación, que cuenta con más de 4.800 miembros, se ha convertido en la organización más influyente en el ámbito del biogás a escala mundial. La Asociación colabora estrechamente con varias organizaciones internacionales y brinda conocimientos de avezados expertos del sector del biogás que se han ido adquiriendo a partir de las experiencias acumuladas con aproximadamente 9.000 plantas de biogás en funcionamiento en Alemania durante varias décadas.

La Asociación cuenta con una experiencia y conocimientos técnicos excelentes en casi todos los aspectos relacionados con el biogás, las plantas de biogás y la operación de las plantas de biogás y participa en todos los organismos oficiales alemanes y varios internacionales en los que se debaten y definen normas o reglamentos para las plantas de biogás. Un ejemplo es su contribución en el seno de un grupo de trabajo de la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) con el fin de establecer términos, definiciones y clasificaciones de sistemas de biogás.

El tema de la seguridad en las plantas de biogás ha sido un objetivo estatutario de la Asociación desde su fundación, y se aborda mediante las actividades siguientes:

- ▶ evaluación de los hallazgos científicos, experiencia práctica e incidentes reales;
- ▶ organización de un grupo de trabajo sobre seguridad y subgrupos asociados;
- ▶ redacción de normas de calidad (p. ej. normas de seguridad para plantas de biogás) de cara a la planificación, construcción y explotación de plantas de biogás;
- ▶ promoción del intercambio de conocimientos mediante conferencias y cursos de formación;
- ▶ publicación de conocimientos a través de su propia revista especializada, textos técnicos y presentaciones.

La formación de los operadores de plantas de biogás ha ido adquiriendo cada vez más importancia en los últimos años. A la luz de ello, tres asociaciones alemanas, la Asociación Alemana Técnica y Científica del Gas y el Agua (DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.), la Asociación Alemana del Agua, Aguas Residuales y Residuos (DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) y la Asociación Alemana de Biogás crearon la Red de Capacitación en Materia de Biogás en octubre de 2013.

El principal propósito de esta red es brindar una capacitación estandarizada y sólida, así como formación profesional continua para operadores de plantas de biogás y personas involucradas en la explotación de plantas de biogás en toda Alemania. En el momento de su fundación, la Red comenzó con cinco organizaciones de formación. A fecha de julio de 2016, cuenta con 16 centros de formación que ofrecen cursos para obtener la cualificación de encargado de seguridad en plantas de biogás. Hasta la fecha, más de 3.500 personas han sido formadas.

**Año de fundación: 1992 · Número de empleados y empleadas: 43**



## Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5  
65726 Eschborn, Alemania  
Teléfono: +49 6196 79-0  
Fax: +49 6196 79-11 15  
Correo electrónico: info@giz.de  
URL: www.giz.de

La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH es una empresa que opera a nivel mundial como proveedora de servicios de la cooperación internacional para el desarrollo sostenible. La GIZ cuenta con más de 50 años de experiencia en los ámbitos más diversos, desde el fomento de la economía y el empleo, pasando por temas relacionados con la energía y el medio ambiente, hasta el fomento de la paz y la seguridad.

Como empresa federal de beneficio público, la GIZ apoya al Gobierno alemán—en particular al Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ, por sus siglas en alemán)—y a clientes del sector público y privado en alrededor de 130 países para alcanzar sus objetivos en el ámbito de cooperación internacional. Con este propósito, la GIZ trabaja junto con sus contrapartes para desarrollar soluciones eficaces que ofrezcan perspectivas a las personas y mejoren de forma sostenible sus condiciones de vida.

En el área de las energías renovables, la GIZ está implementando actualmente más de 170 proyectos en más de 50 países, de los cuales, más de 20 se centran en el biogás o el biogás figura entre sus componentes. Las actividades de estos proyectos incluyen el apoyo a la definición de condiciones legales para el biogás, el análisis de diferentes sustratos para su uso en la producción de biogás, el desarrollo de capacidades, la cooperación con el sector privado y el respaldo a proyectos piloto en el sector del biogás.

**Año de fundación: 2011 · Número de empleados y empleadas: 16,400**

La presente publicación ha recibido el apoyo conjunto de los siguientes proyectos de la GIZ :

- ▶ **Sustainable Energy for Food – Powering Agriculture**  
*(Energía sostenible para la alimentación – Impulsando la agricultura)*
- ▶ Energetic utilization of urban waste in Mexico (EnRes)  
*(Aprovechamiento energético de los residuos urbanos en México)*
- ▶ Renewable energies and energy efficiency in Central America (4e)  
*(Energías renovables y eficiencia energética en Centroamérica)*
- ▶ Promoting climate-friendly biogas technology in Brazil (Probiogas)  
*(Promoción de la tecnología del biogás para proteger el clima en Brasil)*
- ▶ South African-German Energy Programme (SAGEN)  
*(Programa de energía sudafricana-alemana)*
- ▶ Support for the Moroccan Solar Plan (DKTI 1)  
*(Apoyo al Proyecto Marroquí de Energía Solar)*
- ▶ Promotion of least cost renewables in Indonesia (LCORE-INDO)  
*(Promoción de energías renovables de menor coste en Indonesia)*

# Referencias

---

ATEX. (2014). The European Parliament. DIRECTIVE 2014/34/EU on harmonisation of the laws of the Member States relating to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres (recast).

BDC, D. G. (2015). Conceito de segurança para plantas de biogás. Berlin/Belo Horizonte.

Comité Européen de Normalisation (CEN). (2016). DIN EN ISO 7010.  
Tomado de <http://www.iso7010.de/iso-7010/>

DIN EN 60529: 2014-09. (kein Datum). Degrees of Protection Provided by Enclosures.

Hurst, P., & Kirby, P. (2004). Health, Safety and Environment: A Series of Trade Union Educational Manuals for Agricultural Workers. Geneve: International Labour Organisation.

Rohstoffe, F. N. (2013). Leitfaden Biogas: Von der Gewinnung zur Nutzung.  
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).

SVLFG (2012). Aktuelle Entwicklungen bei der Anlagensicherheit von Biogasanlagen aus Sicht der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft. Berlin.

SVLFG. (2016). Technische Information 4. Kassel: Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau .

TRBA 214. (2013). Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe. Abfallbehandlungsanlagen.

TRBS 1112-1. (2010). Instandhaltung. Technische Regeln für Betriebsicherheit.

TRBS 2153. (2009). Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) TRBS 2153.  
Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen.

TRGS 529. (2016). Technische Regeln für Gefahrstoffe.  
Tätigkeiten bei der Herstellung von Biogas.

TRGS 727. (2016). Technische Regeln für Gefahrstoffe.  
Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung.

TRGS 900. (2016). Technische Regeln für Gefahrstoffe. Arbeitsplatzgrenzwerte.

United, N. (2015). Global Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals. New York and Geneva. Tomado de [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_rev06/English/ST-SG-AC10-30-Rev6e.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev06/English/ST-SG-AC10-30-Rev6e.pdf)

---

**Publicado por** Fachverband Biogas e. V.  
Dr. Claudius da Costa Gomez  
(responsable a efectos del Derecho de prensa),  
Angerbrunnenstraße 12 · 85356 Freising · Alemania  
Teléfono +49 (0) 81 61- 98 46 60  
Fax +49 (0) 81 61- 98 46 70  
info@biogas.org, www.biogas.org

**Editor** Fachverband Biogas e.V.

**Autores** Giannina Bontempo, Manuel Maciejczyk y Lucas Wagner  
Clemens Findeisen, Mareike Fischer y Frank Hofmann

**Diseño** bigbenreklamebureau  
www.bb-rb.de

**Portada** Fotolia\_mihalec

**Fotografías** Fachverband Biogas e.V.

**Estado** Noviembre de 2016

**ISSN 2510-487X**

**[www.biogas-safety.org](http://www.biogas-safety.org)**

Esta publicación también está disponible en inglés,  
portugués, francés y bahasa indonesia.



[www.biogas-safety.com](http://www.biogas-safety.com)

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Fachverband  
**BIOGAS**

German Biogas Association  
[www.biogas.org](http://www.biogas.org)