

RIESGOS Y SEGURIDAD EN EL MANEJO DEL BIOGAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

Jean-François BRADFER (*)
AS&D Consultores



Ingeniero Francés en Procesos Industriales en tratamiento de aguas, ha iniciado su carrera en ingeniería criogénica (Air Liquide) desarrollando purificadores de hidrógeno y descubriendo la seguridad “EEx”. En 1996, profundizó sus conocimientos en Chile en un proyecto de gas natural, y en 1999, entró a OTV (Filial de Vivendi Water System) aprovechando su experiencia en gases combustibles para “adecuar” la ingeniería de las redes de biogás en los proyectos de PTAS de Santiago: El Trebal (4,4 m³/s – 1,2 MeqHab) y La Farfana (8,8 m³/s – 2,4 MeqHab).

Las Palmas 380 D.1612 – Peñalolen – Santiago de Chile
Tel.:+56(9)419-2227 – Fax: +56(2)373-1034. e-mail: jf.bradfer@asdconsultores.cl

RESUMEN

Frente al desarrollo de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas para las grandes ciudades de México, aparecerá su corolario: el tratamiento de los lodos mediante digestión anaeróbica, con el fin de reducir el volumen de los desechos, y obtener su estabilización para ser finalmente almacenados o reutilizado como abono. Esa digestión genera biológicamente un gas llamado biogás, cuyas características físico-químicas son indiscutiblemente diferentes de las del agua, implicando un cierto desconocimiento para la mayoría de los especialistas de tratamiento de aguas servidas en término de riesgos, por su toxicidad y sobre todo por su explosividad.

En consecuencia, para el diseño seguro de una planta y a un costo optimizado, es absolutamente necesario plantear un estudio de riesgo durante la realización de la ingeniería de detalle, con el conocimiento de la legislación, las normas al respecto y algunos conceptos específicos. El estudio consiste en primer lugar definir las zonas de riesgo según ciertos criterios y una nomenclatura que reconoce cuatro zonas, de acuerdo a la peligrosidad existente. Las normativas norteamericanas NEC/NEMA o europeas EEX permiten utilizar equipos energizados en zonas con riesgo de explosión. Pero existen otras soluciones que permiten disminuir el peligro mediante conceptos constructivos, utilización de accesorios de seguridad (para tubería), e instrucciones de operación y de control durante el funcionamiento de la Planta.

Es sólo mediante un previo análisis y acciones apropiadas que será posible el resguardo de la seguridad del personal operativo, del medio ambiente y del sistema que genera, transporta y trata el biogás.

Palabras Clave : Biogás, zonas explosivas, digestión anaeróbica, seguridad intrínseca, equipos EEx.

INTRODUCCION

El sistema de generación, tratamiento y utilización de biogás dentro de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (en adelante PTAS) representa un subsistema aparte de la línea principal de tratamiento de las aguas. La ingeniería de proceso, diseño y operación muy asociada a las aguas olvida que los gases tienen propiedades y reglas muy distintas. Explosivo y tóxico, es importante conocer los peligros del biogás para así establecer zonas de riesgos, definiendo reglas y protecciones necesarias, como también los equipos adecuados, a fin de realizar el diseño seguro de una planta de producción de biogás.

Este documento no pretende enseñar como realizar una planta segura. Sólo presenta conceptos y herramientas inusuales, como también referencias para permitir a los ingenieros optimizar su diseño, aplicando sus propios criterios, en las reglas del arte y del buen sentido profesional de cada uno.

Pero antes de abordar el problema del riesgo ¿Cuáles son las razones que motivan la realización de un complejo sistema de generación e utilización del biogás a escala industrial? Es lo que vamos a explicar a continuación.

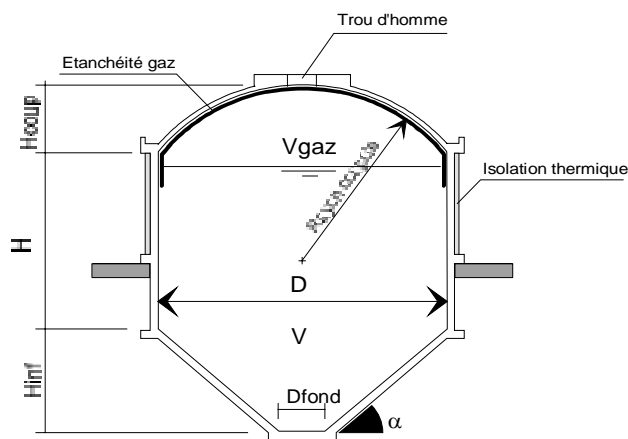
1. GENERACIÓN Y USO DE BIOGÁS EN UNA PLANTA DE AGUAS SERVIDAS

La razón principal de una PTAS es remover la contaminación mineral y orgánica contenida en el agua servida para cumplir las normativas. Pero de un punto de vista general, si se hace un balance global de los elementos a eliminar, según la regla de Lavoisier [1] “nada se pierde, nada se crea, todo se transforma”, esta materia removida del agua se recupera bajo otra forma dentro de las MALLAS de los decantadores primarios y clarificadores; materia resultante comúnmente llamada “Lodos Primarios” y “Lodos Biológicos”. Por lo tanto, una vez clarificada el agua, el problema ha sido resuelto solo parcialmente ¿Qué hacer con estas materias sólidas producidas diariamente? ¿Almacenarlas, destruirlas o reciclarlas? La respuesta la entregará un minucioso estudio económico y de factibilidad. Independientemente de la destinación final del residuo y con conocimiento de que cualquier solución implicaría un costo adicional debido a los grandes volúmenes a tratar, existe una alternativa que consiste en reducir el volumen de residuos, utilizando un proceso natural por medio de la digestión anaeróbica (sin aporte de aire), la misma que se produce al interior de nuestros intestinos.

Gracias a esta alternativa, se “consume” la materia biodegradable permitiendo reducir el volumen de los residuos orgánicos en un promedio de 50%, transformando esta materia en un gas residual, el biogás.

Además de una disminución del volumen, el lodo digerido tiene características de alcanzar una estabilización bioquímica, habiendo consumido casi todo su “potencial de biodegradabilidad” para evitar una posterior descomposición o fermentación nauseabunda en caso de almacenamiento, mejorando sus cualidades agronómicas de ser reutilizado como abono. Finalmente, el excedente de biogás no consumido en la planta puede ser valorizado energéticamente, en utilización industrial o en producción eléctrica.

La producción del biogás se genera en grandes reactores herméticos llenos de lodo y bacterias anaeróbicas, a una temperatura entre 35 y 55°C según el proceso de digestión elegido. Para mantener en suspensión las bacterias, optimizar la transferencia de alimento hacia ellas y alejar sus desechos, los reactores deben ser mezclados continuamente mediante agitadores, o inyección de gas en las zonas bajas, en este caso provocando movimientos de la masa líquida por diferencias de densidad. Sobre este líquido existe un volumen de gas resultante el cual se extrae la producción y si necesario un caudal adicional que será devuelto desde el fondo para homogenizar la mezcla en el digestor.



El gas resultante es en general más liviano que el aire, incoloro, con fuerte olor a huevo podrido, tóxico y combustible.

Se compone de un conjunto de gases de características físico-químicas y toxicidad distintas. Las concentraciones varían según el contenido de materias minerales y orgánicas. La tabla siguiente indica las variaciones que se pueden encontrar.

Conociendo las características del biogás, es posible analizar sus riesgos asociados.

FIGURA 1: Esquema de un digestor cilíndrico a fondo cónico

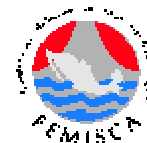


TABLA 1: Características del biogás

Gas en base seca	Valor tipo o rango
CH4	55 a 70%
CO2	25 a 40%
N2	2 a 7%
H2	1 a 5 %
H2S	50 a 5000 ppm
PCI (en base seca)	23 500 kJ/Nm3
Densidad relativa	0,8 – 1,2
ρ promedio	1,13 kg/Nm3

2. PELIGROS DEL BIOGAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

El mayor riesgo del biogás es principalmente su inflamabilidad y explosividad al combinarse con el oxígeno contenido en el aire. La mezcla es peligrosa con una concentración de metano entre 5 y 15%. El biogás está compuesto de CO2 con efecto asfixiante (si O2 < 18%), y H2S tóxico (mortal si >50 mg/m3). Estos dos gases son más pesados que el aire lo que implica un riesgo de acumulación en zonas bajas de recintos cerrados (cámaras, pozos, etc.).

El peligro de asfixia o toxicidad del biogás puede resolverse mediante ventilación natural, detectores de gas y procedimientos para entrar en lugares de riesgo (detector portátil, equipo autónomo de respiración, etc.). Trataremos solamente los peligros relativos a la inflamabilidad del biogás.

2.1. DEFINICIÓN Y UBICACIÓN DE LAS ZONAS DE PELIGRO

Las normas Norteamericanas y Europeas al respecto han identificado 4 zonas. Estas zonas son identificadas según la frecuencia de fuga y se deben ubicar claramente dentro de una PTAS.

Una Zona 0 puede ser el interior de un digestor, gasómetro, incluyendo además toda la tubería de biogás con sus componentes. Una Zona 1 corresponde a un lugar donde en funcionamiento normal hay presencia de gas, la cual se determina en un radio de 3 metros alrededor del punto emisor, de un alivio de gas, un drenaje o una válvula. Una Zona 2 se observa con una frecuencia de ocurrencia menor, o también se extiende a tres metros más allá de una Zona 1, excepto condiciones particulares.



FIGURA 2: Definición de las cuatro zonas de peligro de explosión

El código NFPA 820-1999 [2] presenta y define muy claramente las distintas zonas encontradas dentro de una planta de tratamiento de aguas servidas. Aconsejamos su consulta.

2.2. CLASIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN EN ZONAS CON RIESGO DE EXPLOSIÓN

Se utilizan mayormente dos codificaciones internacionales para clasificar los riesgos y selección de equipos seguros para su prevención. Estas son, la norma europea según IEC/CENELEC [3] y norma norteamericana NFPA70 (NEC) [4]. En zonas de riesgo con presencia de biogás, se debe emplear la codificación de la siguiente figura:

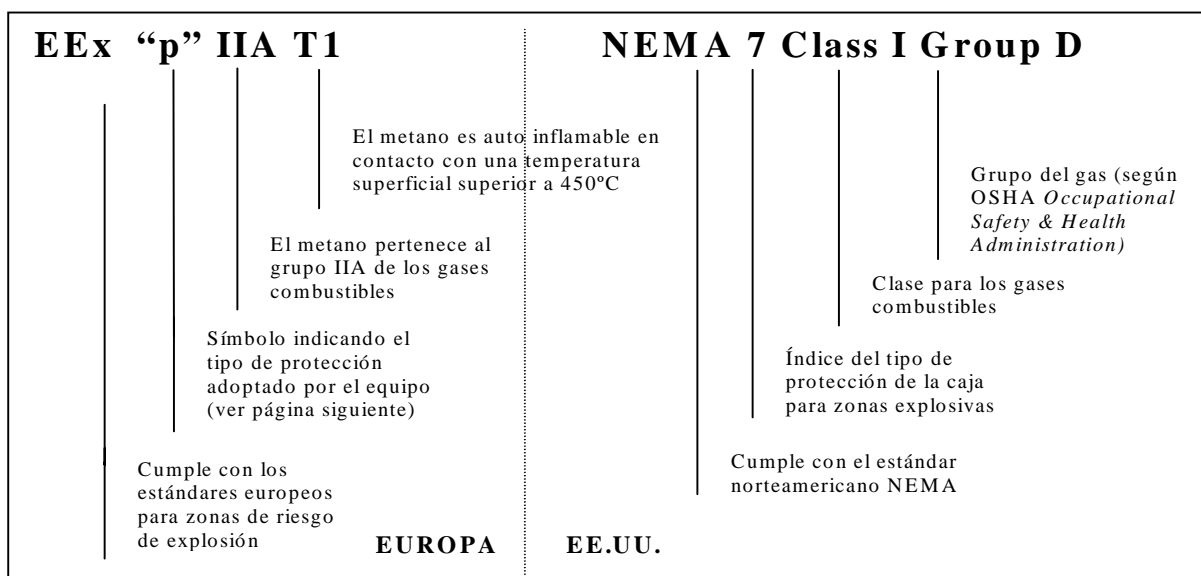


FIGURA 3: Clasificación del biogás según las normas europeas y norteamericana

Designación del tipo de protección señalado como “p” (solo para norma EEX):

- d: Caja antideflagrante por confinamiento para zonas 1-2 (motores, bombas, aparatos de maniobra).
- ia: Seguridad intrínseca por limitación de energía para zonas 0-1-2 (instrumentación, controles).
- ib: Seguridad intrínseca por limitación de energía para zonas 1-2 (instrumentación, controles).
- e: Seguridad aumentada por diseño mecánico para zonas 1-2 (motores, luminarias, cajas).
- n: Protección "n" por diseño mecánico para zona 2 (motores, luminarias, cajas).
- o: Inmersión en aceite para zonas 1-2 (Transformadores, controles).
- p: Presurizado para zonas 1-2 (Salas de control, analizadores).
- m: Encapsulado para zonas 1-2 (Instrumentación, controles).

Definiendo las zonas de riesgo se determinan los equipos necesarios según la zona respectiva, una vez identificada, delimitada, y su nivel de riesgo valorizado de acuerdo a la nomenclatura expuesta.

3. ANÁLISIS Y PROTECCIONES PARA LAS ZONAS DE RIESGO

Previamente a definir la clasificación de motores y/o instrumentos, o modificar cualquier diseño (ubicación de equipo, ventilación, muro etc.), para determinar la clase de una zona, es necesaria una inspección general de la Planta y establecer las zonas de riesgo. No sólo se debe considerar un punto de vista “estático” del sistema, sino también fenómenos dinámicos que implican desplazamiento de gas (recordar que el H₂S es más pesado que el aire, y el metano más liviano) con riesgo de acumulación o explosión de una mezcla combustible dentro de un tubo, al igual que el desplazamiento de una llama hasta un punto lejano considerado inicialmente como fuera de zona de riesgo. Entonces, hay que ampliar el horizonte de análisis, incluyendo otros conceptos como físico constructivo y de causa a efecto. Por ejemplo, una cámara cerrada en cuyo interior hay un equipo de purga de agua condensada proveniente de una tubería de transporte de biogás, la cual está fugando. La zona de riesgo no es sólo hasta 3 metros alrededor del punto de

fuga. Hay que considerar que el metano sube y se acumula hasta encontrar una vía de salida (si existe). Por lo tanto, toda la zona de acumulación se deberá considerar como zona 2, lo que podría ser la cámara completa si no existiera salida. Por otra parte, el H₂S se acumula hacia abajo. Se requerirá un detector de H₂S para verificar su presencia en dicha zona, si no existe ventilación natural.

Otro ejemplo: si durante una mantención, se cambia un tramo o un accesorio de tubería (válvula) penetrando aire dentro de ésta. La mezcla aire-biogás se incorpora al interior de la tubería pudiendo ocasionarle un desplazamiento de llama proveniente desde el quemador de una caldera. ¿Hasta donde se prolongará esta inflamación? ¿Hasta el gasómetro? ¿Qué procedimiento se consideró? ¿Qué nivel de seguridad se requiere?

3.1. CONCEPTOS CONSTRUCTIVOS

Existen soluciones constructivas que permiten reducir el peligro en una zona con riesgo de explosión, lo que se llama técnicamente BAJAR LA CLASIFICACIÓN de una zona de riesgo. (¡Lo que al contrario hace subir el índice de 0 hasta 1 ó 2!). Eso permite la viabilidad de una instalación, disminuir la exigencia de un motor o instrumento. Además, adoptando algunas medidas, es posible eliminar el peligro de explosión, lo que se llama DESCLASIFICAR UNA ZONA, en otras palabras construir una zona sin riesgo. Algunos ejemplos:

a) Si se requiere instalar algunos instrumentos y paneles eléctricos dentro de una plataforma de compresores de biogás, zona con riesgo de fuga importante de gas combustible. ¿Es necesario comprar paneles y cajas a prueba de explosión? o, ¿habría que alejar la sala eléctrica y construirla en una zona segura, lejana de los digestores, aumentando el largo de los cables? No es necesariamente la solución más económica, ya que existe la alternativa de “construir una zona 0” fuera de riesgo, mediante la construcción de una sala con muros resistentes al fuego durante 1 hora y estanqueidad de todas las pasadas a través de losas para tuberías y cables, con una de las siguientes alternativas:

- Ventilación continua con 6 renovaciones por hora (NFPA820/1999) [5].
- Presurización de la sala (NFPA496) [6].

Con esta solución de concepto constructivo se reduce el costo de la instalación eléctrica y se hace viable su montaje dentro de una instalación con riesgo de explosión.

b) Dentro de una cámara, o un túnel, por donde existan tuberías de gas, basta con prever una ventilación natural o forzada (6 renovaciones por hora) para reducir la zona de riesgo hasta 3 metros entorno a la posible fuente con riesgo de fuga.

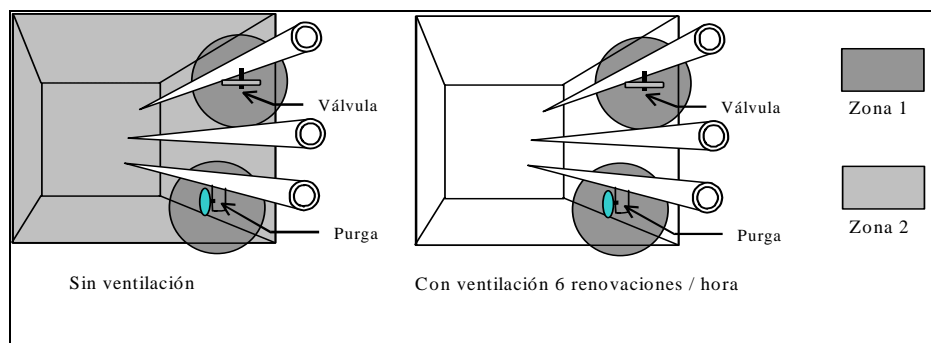


FIGURA 4: Reducción del riesgo mediante ventilación de un túnel o cámara

c) Por otra parte, elegir un correcto sentido de la ventilación puede ser la solución más simple. Una zona clasificada como nivel 1 puede disminuir a nivel 2 ventilando de arriba hacia abajo para que los posibles gases que pueden escapar de un estanque sean impulsados hacia el piso y evacuados mediante extractores o celosías, sean éstas fijas o gravitacionales.

Después de definir las zonas de riesgo, y habiendo tratado de rebajar su clasificación, es absolutamente necesaria la determinación y ubicación física de las zonas de riesgo, para delimitar y clasificarlas según sus niveles de peligrosidad, lo cual podrá ser representado en un plano. Desafortunadamente, este trabajo no siempre se ejecuta con la seriedad que

amerita, y es a medida que avanza un proyecto que aparecen las dudas y la necesidad de verificar o cambiar los equipos, sobre clasificar los motores, cuando haber invertido un poco de tiempo en este estudio preliminar hubiera permitido realizar una instalación segura optimizando el tiempo y los costos apropiadamente.

Este documento es LA HERRAMIENTA para las siguientes disciplinas:

- ❑ Electro-mecánica (selección de motores, mecanismos, etc.).
- ❑ Instrumentación (selección de equipos).
- ❑ Eléctrica (paneles, cables, trazado de ductos, luminarias, interruptores, etc.).
- ❑ Seguridad (detectores de gases, procedimientos de seguridad, etc.).
- ❑ Civil (muros resistente al fuego, puertas de escape corta fuego, ventilaciones, etc.).

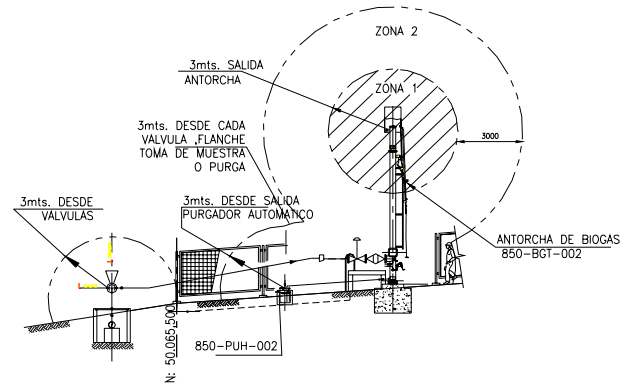


FIGURA 5: Extracto del plan de seguridad de la PTAS El Trebal – Chile - Zona Antorchas.

3.2. EQUIPOS ENERGIZADOS PARA ZONAS CON RIESGO DE EXPLOSION

Durante la etapa de Ingeniería de Proyecto, el Proceso en si mismo y cada especialidad definen los equipos y la clasificación correspondiente a su respectiva zona de riesgo. A continuación se presenta una tabla que define la clase de equipos energizados a instalar en una zona de riesgo determinada, de acuerdo a la codificación europea mostrada en el capítulo anterior.

Equipos	Zona 0	Zona 1	Zona 2
Motores	Prohibido	EEx IIA d/e T1	EEx IIA d/e/n T1
Instrumentación & Control	EEx IIA ia T1	EEx IIA d/ia/ib/o/m T1	EEx IIA d/ia/ib/o/m T1
Cajas & Gabinetes	Prohibido	EEx IIA d/e T1	EEx IIA d/e/n T1
Analizadores	No Aplicable	EEx IIA d/e/p T1	EEx IIA d/e/p T1
Luminarias	No Aplicable	EEx IIA d/e/m T1	EEx IIA d/e/n/m T1

TABLA 3: Designación De los equipos para zonas de riesgo (d/ia/etc... significa que se puede utilizar una protección d, ia, ó etc...)



FOTOGRAFIA 1: Interruptores EEx para zonas de niveles 1 y 2.



FOTOGRAFIA 2: A pesar de utilizar una lámpara y caja de conexionado EEx, el cableado sin protección no es conforme (ver la fotografía precedente).

Las posibles fuentes de explosión asociada al biogás no se limitan sólo a equipos energizados y la propagación de la llama no se confina sólo a un espacio delimitado alrededor del origen. Las llamas, o deflagración, pueden ir más allá de lo teórico y sus fuentes de propagación pueden ser otras además de las eléctricas: un cigarrillo, una chispa provocada ocasionalmente por la caída de una herramienta, etc.

Determinadas las zonas de riesgo y definidos los equipos adecuados, se debe también considerar la región interna de las tuberías y analizar hasta donde podría llegar una inadvertida llama para seleccionar y equipar el sistema de elementos o accesorios de seguridad.

3.3. ACCESORIOS DE SEGURIDAD

Gracias a la industria de extracción y refinamiento del petróleo, se han desarrollado elementos de seguridad que permiten confinar la propagación de una llama o deflagración. Estos elementos pueden ser pasivos o activos. A diferencia de un elemento pasivo que puede solamente confinar una llama, un elemento activo al mismo tiempo elimina la fuente combustible, cerrando el paso del gas hacia las llamas, o evacuando una deflagración fuera del sistema cerrado.

Como elemento pasivo, el arrestador de llama se compone de una malla o un conjunto de láminas metálicas concéntricas, de alta capacidad calorífica actuando como un bloqueador de calor cuando llega una llama, disminuyendo el calor producido por la inflamación e impidiendo la propagación de la combustión. En un tramo largo de tubería, una válvula de alivio permitirá evacuar la sobrepresión para proteger los equipos si se requiere, siendo por lo tanto un sistema activo.

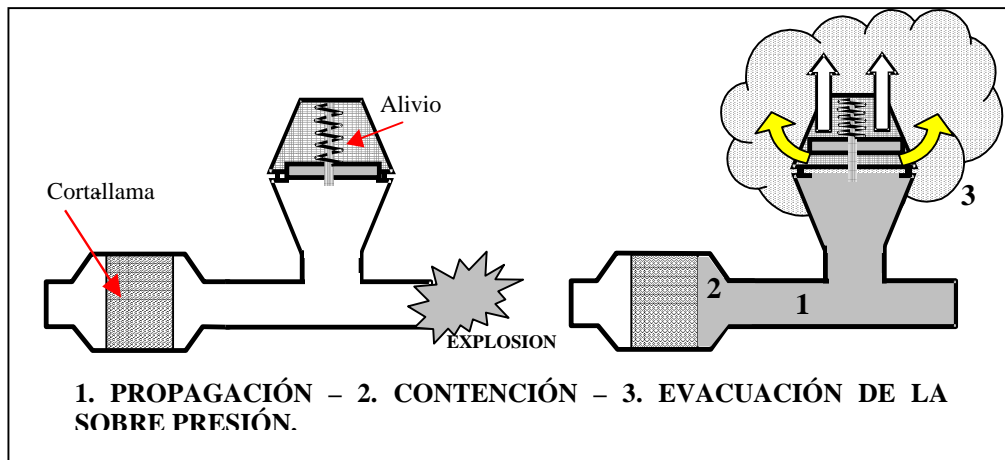
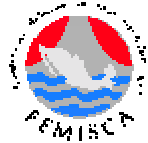


FIGURA 7: Propagación de una llama "bloqueada" por un accesorio de seguridad.

Identificados todos los puntos posibles de ignición en el circuito de biogás (alivio de un digestor, toma muestra, máquina rotativa, quemador...), resta seleccionar y ubicar los accesorios de seguridad, conociendo la función de cada uno y los riesgos que pueden correrse (peligro de muerte, destrucción de material, deflagración dentro de un tubo, etc.).

En la protección de operadores e instalaciones dentro de una Planta, no debe limitarse al uso de equipos adecuados y sofisticados. También debe existir un plan de operación y control de la Planta que deberá ser aplicado durante la operación normal y los incidentes.



3.4. PLAN DE OPERACIÓN Y CONTROL

Se debe realizar un Plan de Control al momento de desarrollar el diagrama de proceso e instrumentación (P&ID). Se debe imaginar minuciosamente todos los riesgos que podrían ocurrir, ya sea por falla humana o de un mecanismo o instrumento, catástrofe natural, accidente ocasionado por un agente externo al recinto, ruptura de tubería, corto circuito etc... Luego de haber dejado libre expresión al “brain-storming” (tormenta de cerebro: proceso mental mediante el cual se deja libre expresión a las ideas sin refrenar las que aparecen como más absurdas), y de reorganizar las ideas, se debe precisar las causas reales y sus condiciones determinando sus consecuencias, gravedad (accidente, destrucción de material, riesgo de muerte, etc.), frecuencias de ocurrencia, para finalmente valorizarlas con una nota (o factor). Esa nota determinará la importancia del riesgo y las medidas a tomar, que sean simples alarmas, resolutiveas en forma automatizada o manual, inspecciones o mantención rutinarias, restricción de zonas etc... o la combinación de algunas.

CONCLUSIÓN

De la misma manera que los balances y los diagramas de proceso, el estudio de riesgo merece seriedad y una razón de hegemonía en los sectores de la planta asociados con la generación del biogás. Este trabajo no es solo de los electricistas, siendo más conceptual y abarcando muchos rubros. Debe ser desarrollado por procesistas, ingenieros de seguridad y/o de calidad, a cargo de diseñar las grandes líneas de una PTAS, o de verificar el cumplimiento de la seguridad.

Sólo mediante un previo análisis y acciones apropiadas es posible el resguardo de la seguridad del personal de una Planta, de su instalación y del medio ambiente. Este proceso se realiza reagrupando las opiniones de profesionales expertos en el tema de seguridad y aceptando con realismo que el riesgo siempre existe. Una vez habiendo identificado y cuantificado el nivel de riesgo, se determinan los niveles de protección a utilizar, mediante todos los conceptos presentados en este documento, como ser constructivos, adecuación de equipos energizados, utilización de accesorios de seguridad y realización de un plan de operación y de control.

Porque una planta bien construida no sólo es la que cumple con las expectativas de rendimiento, funcionalidad y un lindo aspecto arquitectónico. También la seguridad debe estar presente al pensar y realizar un proyecto. Aun más cuando empiecen a aparecer nuevas plantas con procesos riesgosos desconocidos, y que la entidad a cargo de operar la Planta al final no es siempre la responsable del diseño original.

Agradezco las empresas OTV Chile Vivendi Water System, ONDEO Degremont Chile, Aguas Andinas (Santiago de Chile) y Arzé Reciné & Asociados S.A. (Chile) por las oportunidades que me ofrecieron, las cuales me permitieron investigar y poner en práctica métodos y conceptos técnicos asociados a los gases combustibles. Además, no quiero olvidar a Daniel Servalli y Chantal Baysse, jubilados actualmente, pero fuentes de informaciones y anécdotas de sus experiencias pasadas con unos de los primeros digestores...en Francia y en el mundo también.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Antoine Laurent de Lavoisier (Paris, 1743-1794). Químico francés, creador de la química moderna. Descubrió la función del oxígeno y de la combustión bioenergética de los compuestos orgánicos, en los organismos biológicos.
 - [2] National Fire Protection Association : “Standard for Fire Protection in Wastewater Treatment and Collection Facilities”
 - [3] International Electrotechnical Commission / European Committee of Electrotechnical Standards : norma IEC 60079-0 sobre Material eléctrico para atmósferas explosivas gaseosas.
 - [4] NFPA 70 – National Electric Code – Artículo 500.
 - [5] NFPA 820 – Standard for Fire Protection in Wastewater Treatment and Collections Facilities.
 - [6] NFPA 496 – Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment, 1998. BS 3790 sobre “Requisitos antiestáticos y piroresistentes”.
- SUVA-CNA-INSAI Ref.66055.f – La Seguridad de las Instalaciones de Biogás.