



FOCUS ARTICLE

## Riesgos ATEX por generación de gases en la industria del papel

Autor: Javier Bolea, Consultor de Seguridad de Procesos; Dekra Process Safety España

**La industria de producción de papel, como la mayoría de industrias manufactureras en general, puede presentar riesgos debidos a formación de atmósferas explosivas. Muchos de estos riesgos son a priori conocidos y similares a los habituales en instalaciones de producción de todo tipo.**

### **Atmósferas explosivas en industrias papeleras.**

No es difícil encontrar situaciones de riesgo debidas a la presencia de vapores inflamables, como las relativas al empleo de disolventes en procesos de limpieza, de laminado y recubrimiento, o en calderas de recuperación de reactivos, además de la generación de trementina (aguarrás) como subproducto de la producción de celulosa [A]. Tampoco se deben descartar los riesgos asociados al manejo de productos sólidos pulverulentos, como puede ser el caso de la madera o del almidón, si las instalaciones cuentan con equipos para su manipulación o almacenamiento.

En el caso del polvo de pulpa y el de papel, aunque históricamente han provocado un menor número de explosiones que otros polvos combustibles como los de carbón, alimentación, metálicos, o la propia madera, no se puede descartar su potencial para ocasionarlas, incluidas las explosiones secundarias debidas a acumulación de capas gruesas de polvo [B]. Entre los emplazamientos más peligrosos se

encuentran, por ejemplo, silos de almacenamiento, equipos de reducción del tamaño de partículas, o colectores de polvo. Si no se dispone de medidas de protección adecuadas se pueden generar chispas, brasas o incendios, incluso procedentes de otras partes del proceso, que podrían provocar una explosión de polvo.

### **Generación de gases por actividad biológica**

Además de los escenarios mencionados, que se presentan en lugares donde es relativamente sencillo predecir la posible formación de una atmósfera explosiva, en la industria del papel se han producido graves accidentes relacionados con la formación de atmósferas explosivas en lugares donde no se había tenido en cuenta su posible presencia.

Por ejemplo, en 2008 en Wisconsin tuvo lugar una explosión durante un proceso de soldadura en un tanque de almacenamiento que contenía agua reciclada y residuos de fibra [C]. En Francia en 2011 ocurrió un incidente similar, en una operación de corte con radial sobre el techo de

un tanque de almacenamiento de pulpa de papel [D]. Ambas explosiones tuvieron como trágica consecuencia el fallecimiento de operarios encargados de las operaciones. Otros casos similares han sucedido en plantas de Alemania [E] y Noruega [F], entre otras.

La mayoría de las explosiones ocurrieron durante o después de tiempos de inactividad por parada de la producción. Las principales fuentes de ignición fueron las actividades de corte y soldadura, aunque no únicamente. Todos los casos mencionados tienen en común, eso sí, el origen de la atmósfera explosiva: la formación de hidrógeno y/o metano por procesos de degradación anaeróbica. [E]

Las investigaciones llevadas a cabo tras estos accidentes concluyeron que, a partir de la pulpa de papel, se puede generar hidrógeno y metano por actividad biológica en cantidad suficiente para que se alcance su límite inferior de explosividad (LIE), formando una atmósfera explosiva cuando está en contacto con el oxígeno presente en el aire.

Concretamente, tras el accidente en la planta noruega se analizaron muestras de pulpa, extraídas de la torre de almacenamiento antes y después de la explosión. Se encontró que las muestras estaban gravemente contaminadas por microorganismos, así que se decidió incubarlas en frascos diseñados para la recogida de gases, a una temperatura de 60 °C, y se comprobó que en 24 h se había producido gas hidrógeno en todos los frascos [F]. Tras el accidente en la planta alemana, el Instituto Fraunhofer de Tecnología Química llevó a cabo un ensayo de laboratorio para analizar la composición de los gases. Desde el comienzo de las mediciones (24 h después de la toma de muestras, debido al transporte y climatización) se demostró la presencia de una atmósfera explosiva producida por hidrógeno. Con el paso de los días el contenido de hidrógeno fue bajando hasta hacerse despreciable, mientras crecía el de metano. En todo momento la concentración de gases inflamables se encontraba por encima del LIE [E].

Las sustancias almacenadas en este tipo de tanques contienen cantidades importantes de sólidos disueltos, incluyendo almidón y azúcares simples, que constituyen una fuente de energía para las bacterias productoras de hidrógeno, como las del género *Clostridium* [G]. El

crecimiento de este tipo de bacterias se ve favorecido por condiciones ácidas (pH 4,5-5,5), anaeróbicas y temperaturas altas (entre 55 y 75 °C son las óptimas para microorganismos termófilos). [F][G]

La liberación de los gases generados puede verse favorecida después de tiempos de inactividad prolongados, cuando la pulpa comienza a moverse, ya que las burbujas de gas atrapadas dentro de la pulpa son liberadas por procesos de agitación, llenado o purgado.

#### **Possible fuente de producción de hidrógeno**

Por otra parte, resulta interesante destacar que la generación de hidrógeno a partir de residuos de la industria del papel ha sido estudiada en un considerable número de artículos científicos durante los últimos años, que incluso plantean este proceso de fermentación anaeróbica como una posible fuente de producción de hidrógeno. [H][I][J][K][L][M]

#### **Lecciones aprendidas**

La formación y liberación de gases inflamables por actividad biológica es un fenómeno al que se debe prestar una especial atención en las industrias papeleras. En aquellas zonas donde se pueda producir una acumulación o estancamiento de producto susceptible de generar actividad bacteriana, se deben tomar medidas para disminuir esta posibilidad, así como para reducir los efectos que puede tener la generación de los gases. Entre las posibles medidas a implantar se encuentran, por ejemplo, vaciado y limpieza regular, agitación o renovación del producto acumulado, uso de biocidas, ventilación adecuada, o empleo de detectores de gas (metano e hidrógeno). Además, las instalaciones afectadas, como tanques, silos o fosos, deben ser consideradas zonas clasificadas ATEX, con su consiguiente inclusión en el Documento de Protección Contra Explosiones y la actualización de los procedimientos de intervención.

Desde DEKRA Process Safety ofrecemos ayuda a nuestros clientes para comprender y evaluar los riesgos en instalaciones afectadas por este fenómeno, incluyendo la posibilidad de realizar mediciones para análisis de las emisiones, así como asesoría sobre las acciones de mejora más recomendadas para cada caso.

## Referencias

- [A] Non-Condensable Gas System Explosion at PCA DeRidder Paper Mill**  
U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB). Investigation Report. Report Number: 2017-03-I-LA. April 2018.
- [B] Dust Explosions in the Pulp and Paper Industry**  
Timothy J. Myers. Proceedings, Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). Engineering, Pulping, and Environmental Conference, Philadelphia, PA, 2005.
- [C] Seven key lessons to prevent worker deaths during hot work in and around tanks**  
U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB). Safety Bulletin. February 2010.
- [D] Explosion of a paper pulp storage tank. 18/1/2011. Nogent-sur-Seine (Aube). France**  
ARIA (Analysis, Research and Information on Accidents) database. No.39635. Last updated February 2013.
- [E] Explosionsgefahr in Bütten und Behältern durch Gase aus anaerobem Abbau**  
Von Dipl.-Ing. Jens-Peter Bösner, Dr. Udo Hamm und Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel. Papierindustrie. BG RCI.magazin. 11/12 2011.
- [F] An explosion caused by microbial hydrogen formation**  
G. Eidsaa. Central Institute for Industrial Research, Forskningsv.1, Oslo, Norway.  
K. Johnsen. The Norwegian Pulp and Paper Research Institute, Oslo, Norway.  
R. Tangen. Institute of Physics, University of Oslo, Norway.
- [G] Preventing bacterial generated gas explosions**  
Dave Vachavake. Paper360° January/February 2012.
- [H] Hydrogen generation via anaerobic fermentation of paper mill wastes**  
Idania Valdez-Vazquez, Richard Sparling, Derek Risbey, Noemi Rinderknecht-Seija, Héctor M. Poggi-Valardo. Bioresource Technology 96 (2005)
- [I] Hydrogen, ethanol and cellulase production from pulp and paper primary sludge by fermentation with Clostridium thermocellum**  
Alexandre Moreau, Daniel Montplaisir, Richard Sparling, Simon Barnabé. Biomass and Bioenergy (2014)
- [J] Hydrogen gas production from waste paper by sequential dark fermentation and electrohydrolysis**  
Hidayet Argun, Gülizar Onaran. International Journal of Hydrogen Energy (2015)
- [K] Hydrogen gas production from waste paper by dark fermentation: Effects of initial substrate and biomass concentrations**  
Serkan Eker, Meltem Sarp. International Journal of Hydrogen Energy (2016)
- [L] Investigation on hydrogen production from paper sludge without inoculation and its enhancement by Clostridium thermocellum**  
Qian An, Ji-Lian Wang, Yu-Tao Wang, Zhang-Lin Lin, Ming-Jun Zhu. Bioresource Technology 263 (2018) 120–127
- [M] Biohydrogen production from paper industry wastes by SSF: A study of the influence of temperature/enzyme loading**  
I.M.M. Moreno-Dávila, L.J. Ríos-González, J.A. Rodríguez-de la Garza, T.K. Morales-Martínez, Y. Garza-García. International Journal of Hydrogen Energy (2019)