



La prevención de accidentes graves en las operaciones de mantenimiento industrial

En las diferentes etapas de implantación de la Directiva SEVESO (I, II y III), que actualmente afecta a unos 10.000 establecimientos industriales en toda Europa [1], unos 600 establecimientos industriales en España [3] y unos 160 establecimientos industriales en Cataluña [2], se ha puesto de manifiesto la importancia que tiene desarrollar un buen Sistema de Gestión de la Seguridad (SGS) para prevenir la ocurrencia de Accidentes Graves (AAGG).

Juan Antonio Vílchez

Dirección técnica y científica. Trámites, Informes y Proyectos, S.L.

Estrella Blanco

Gerencia y control de proyectos. Trámites, Informes y Proyectos, S.L.

HASTA LA FECHA, los principales esfuerzos de control que se derivan de la aplicación de la Directiva SEVESO han estado centrados en dos aspectos:

1. El trámite y la regularización administrativa de las actividades industriales, exigiéndose la presentación de la documentación oficial prevista en el marco legal vigente para controlar el riesgo químico en el territorio [4].

2. La identificación de peligros en fase de ingeniería básica y de detalle de los procesos, exigiéndose la aplicación de técnicas de estudio PHA, HAZOP, FMEA, HAZID, ISD, o similares, para garantizar que los establecimientos industriales incorporan las medidas de prevención, control y mitigación apropiadas, al margen de la necesidad de cumplir con los requerimientos que se derivan de la aplicación estricta de los reglamentos de seguridad industrial.

En el presente artículo, mediante el análisis detallado de tres accidentes de referencia bien conocidos y documentados en la bibliografía especializada, se pretende llamar la atención sobre la necesidad de impulsar esos mismos niveles de control y exigencia legal en las tareas de mantenimiento industrial, como vía para prevenir que estas operaciones puedan llegar a ser la causa raíz de situaciones de accidente grave.

COMPONENTES DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD

El Sistema de Gestión de la Seguridad exigido por SEVESO se compone de los siguientes siete elementos básicos:

1. La organización y el personal: Definición de las funciones y responsabilidades del personal asociado a la prevención y gestión de los riesgos de accidentes graves en todos los niveles de organización. Definición de las necesidades formativas del citado personal, así como la organización de actividades formativas y participación de los empleados y del personal subcontratado que trabajen en el establecimiento.

2. Identificación de peligros y evaluación de los riesgos de accidentes graves: Adopción y aplicación sistemática de procedimientos tendentes a identificar los riesgos de accidentes graves y evaluar sus consecuencias.

3. Control de la explotación: Adopción y aplicación de procedimientos e instrucciones dirigidas al funcionamiento en condiciones seguras, al mantenimiento de las instalaciones, procesos, equipos y paradas temporales.

4. Adaptación de las modificaciones: Adopción y aplicación de procedimientos para los proyectos de las modificaciones que deban efectuarse en las instalaciones o zonas de almacenamiento existentes, o para el diseño de una nueva instalación, proceso o zona de almacenamiento.

5. La planificación ante situaciones de emergencia: Adopción y aplicación de procedimientos destinados a iden-

Las tareas críticas de mantenimiento deben estar definidas por escrito y generar registros, siendo el sistema de permisos de trabajo (PTW) uno de los procedimientos clave a considerar en el SGS

tificar las emergencias previsible según un análisis sistemático, así como a elaborar, comprobar y revisar, los planes de emergencia y proporcionar la formación ad hoc del personal afectado. Esta formación afectará a todo el personal que trabaje en el establecimiento, incluido el personal subcontratado pertinente.

6. Seguimiento de los objetivos fijados: Adopción y aplicación de procedimientos encaminados a la evaluación permanente del cumplimiento de los objetivos fijados por el industrial en el marco de la política de prevención de accidentes graves y del sistema de gestión de seguridad, así como el desarrollo de mecanismos de investigación y de corrección en caso de incumplimiento. Los procedimientos deberán abarcar el sistema de notificación de accidentes graves, en especial cuando se hayan producido fallos de las medidas de protección, y su investigación y seguimiento en base a las lecciones aprendidas.

7. Auditoría y revisión: Adopción y aplicación de procedimientos para la evaluación periódica y sistemática de la política de prevención de accidentes graves y de la eficacia y adaptabilidad del sistema de gestión de seguridad.

Los elementos 1, 3 y 4 afectan directamente a las operaciones de mantenimiento, y se deben gestionar bajo las siguientes premisas:

- Las tareas críticas de mantenimiento deben estar definidas por escrito y generar registros, siendo el sistema de permisos de trabajo (PTW) uno de los procedimientos clave a considerar en el SGS. Se admite que las tareas no críticas se realicen de acuerdo con “la buena práctica operativa”, sin que tengan que detallarse, paso a paso y con registro, las operaciones a realizar, porque se confía en la formación, el buen oficio, la experiencia y el saber hacer de las personas encargadas de dichas tareas (en general se trata de operaciones rutinarias).

- Las operaciones de mantenimiento que conllevan adaptaciones de proceso (cambios en el diseño original) deben realizarse conforme a un procedimiento de gestión del cambio (MOC), que es diferente y adicional al PTW de aplicación regular. El MOC debe incluir los elementos necesarios para identificar los peligros que se introducen en el proceso y establecer una manera de evaluar los riesgos

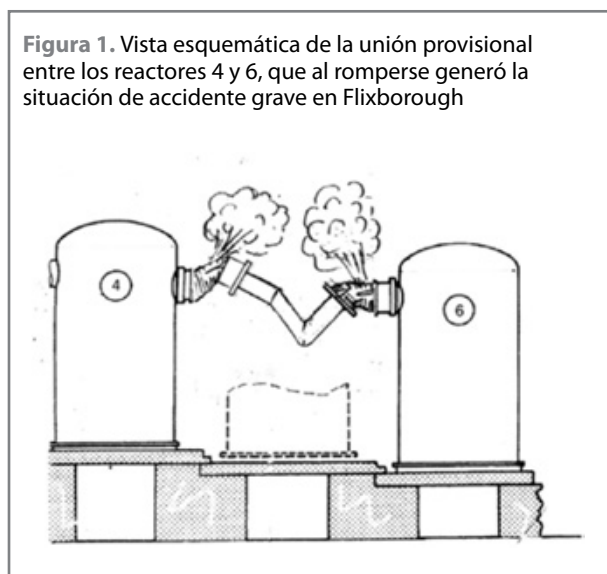
Los empleados y contratas que se asignen a las operaciones de mantenimiento deben de ser informados de los peligros; estar formados en los riesgos y estar adiestrados en las prácticas preventivas específicas del trabajo asignado

asociados a los mismos, comprobando que se adoptan las salvaguardas adecuadas para realizar de manera segura la operación de mantenimiento, y que el proceso no queda afectado en su propia seguridad de operación.

- Debe de implantarse un programa de bloqueo y etiquetado (también denominado programa de consignación o LOTO) en aquellas operaciones en las que es preciso cortar los suministros energéticos o las entradas y salidas de fluido a equipos y máquinas de proceso.

- Los empleados y contratas que se asignen a las operaciones de mantenimiento deben de ser informados (de los peligros), estar formados (en los riesgos) y estar adiestrados (en las prácticas preventivas específicas del trabajo asignado). Todo esto es evidente y no requiere más comentario en el presente artículo.

Los procedimientos del SGS indicados anteriormente ayudan a reducir drásticamente la probabilidad de sufrir accidentes durante las operaciones de mantenimiento y, si son prácticos y están bien articulados desde un punto de vista técnico y organizativo, encuentran una gran acogida por parte de los trabajadores, ya que suelen ser



vistos como una prueba del compromiso de la propia empresa con la seguridad.

A continuación se analizan tres casos de accidente grave que en magnitud y desarrollo se corresponderían con situaciones de emergencia que se pretenden evitar mediante la aplicación de la normativa SEVESO. Estos son: Flixborough (1974), Piper Alpha (1988) y Phillips Petroleum Pasadena (1989). Se estudia en qué aspectos y orden dejaron de cumplirse los elementos básicos de un buen Sistema de Gestión de la Seguridad. Hay que advertir que el caso de la Piper Alpha, por ser una instalación Off-Shore, no se encontraría afectado por la normativa SEVESO en su planteamiento actual; eso no significa que exista falta de control sobre estas actividades, ya que tienen normas específicas tan exigentes como la propia Directiva SEVESO.

EL ACCIDENTE DE FLIXBOROUGH (1974)

Lugar: Flixborough (Reino Unido)

Fecha: 1/6/1974

Hora: 16:53

Descriptiva del proceso

El accidente ocurrió en la sección de reacción de una planta de producción de caprolactama por oxidación del ciclohexano que la empresa Nypro tenía en la localidad de Flixborough [5].

El proceso de producción consistía en un tren de seis reactores en serie en los que el ciclohexano se oxidaba a ci-

Foto 1. Imagen aérea de la planta siniestrada en Flixborough



clohexanona y ciclohexanol por inyección de aire en presencia de un catalizador. Dicha reacción era fuertemente exotérmica y se realizaba a 8,8 kg/cm² de presión y a una temperatura de 155°C. La temperatura se controlaba mediante la evaporación de parte del ciclohexano en cada reactor.

Circunstancias iniciales

Algunos días antes de que ocurriera el accidente se produjo una fuga en el reactor número 5 por la presencia de una grieta de dimensiones importantes en el mismo. Por ello, se procedió a eliminar la operación con dicho reactor en serie utilizando una tubería provisional de "by-pass" que unía los reactores 4 y 6. Dicha tubería de unión tenía un diseño claramente deficiente y diferente del resto de uniones entre los otros reactores.

Suceso iniciador

El accidente se produjo precisamente por la rotura de esta unión provisional entre los reactores 4 y 6 (Figura 1), propiciada por una fluctuación de la presión en los mismos (alcanzó aproximadamente el valor de 9,2 kg/cm²).

En el accidente se produjo el escape inmediato de unas 40 t de ciclohexano muy caliente, que se vaporizó inmediatamente formando una gran nube inflamable que, al encontrar un punto de ignición, generó una explosión del tipo VCE (Foto 1).

Consecuencias

- Destrucción completa de la planta de producción de caprolactama.
- 28 personas muertas, 36 heridos graves y centenares de heridos leves.
- Daños graves en 1.821 casas y 167 tiendas en un amplio radio entorno a la planta.
- Daños en otras instalaciones próximas.

Causa raíz: fallo del MOC

Aunque se identifica como causa inicial del accidente la rotura física de la unión provisional ("by-pass") entre los reactores, en el ámbito organizativo y de la seguridad dicha situación estuvo propiciada por todo un cúmulo de errores asociados a la gestión del cambio en el proceso. Los más destacables fueron:

- Inexistencia de proyecto y planos de la modificación realizada.
- Inexistencia de cálculos justificativos de resistencia de materiales.
- Inexistencia de un ingeniero de diseño que supervisara la modificación.
- Falta de personal especializado en seguridad.
- Priorización de la producción sobre la seguridad.
- Falta de rigor en el diseño y control de las modificaciones.
- No realización de pruebas de presión adecuadas y normalizadas en la modificación de la tubería.

La Piper Alpha era una plataforma petrolífera ubicada en el Mar del Norte propiedad de Occidental Petroleum Corporation (Drysdale, 1998). La producción comenzó en 1976, primero como plataforma petrolera, después fue adaptada a la producción de gas

EL ACCIDENTE DE PIPER-ALPHA (1988)

Lugar: Mar del Norte (Reino Unido)

Fecha: 6/7/1988

Hora: 21:55

Descriptiva del proceso

La Piper Alpha era una plataforma petrolífera ubicada en el Mar del Norte propiedad de Occidental Petroleum Corporation (Drysdale, 1998). La producción comenzó en 1976, primero como una plataforma petrolera, extrayendo 250.000 barriles/día de petróleo. Posteriormente fue adaptada a la producción de gas.

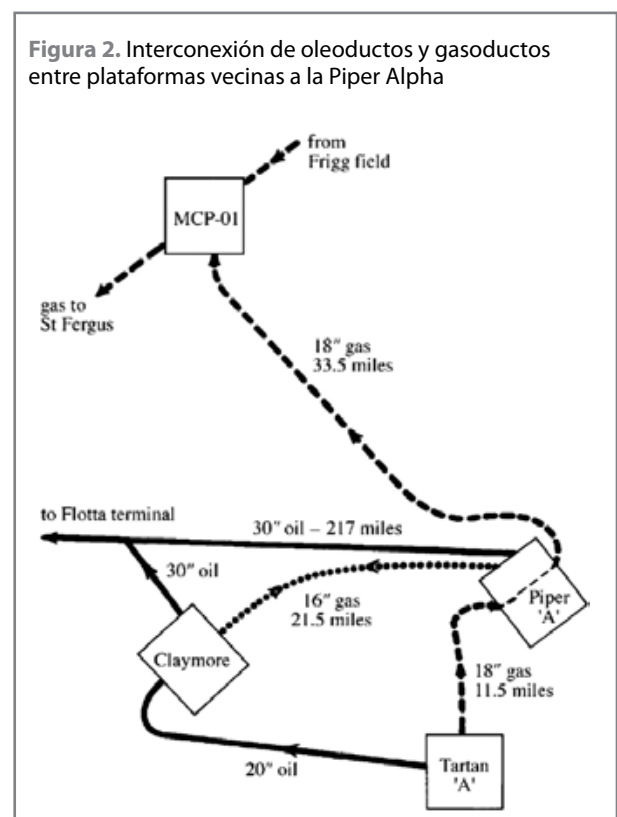


Foto 2. Imagen de la Plataforma Piper Alpha envuelta en llamas



Circunstancias iniciales

La Piper Alpha disponía de un sistema de extinción de incendios basado en bombas que extraían grandes cantidades de agua de mar con el fin de refrigerar y controlar cualquier situación de incendio. La puesta en marcha de estas bombas estaba bajo control manual para evitar la succión de los buceadores en tareas de mantenimiento (independiente de su ubicación).

La plataforma Piper Alpha estaba interconectada con otras plataformas próximas (Tartan y Claymore) mediante una serie de gasoductos y oleoductos de gran dimensión.

Los dos aspectos comentados (bombas contra incendio en posición manual e interconexión entre plataformas) condicionaron de manera definitiva la evolución del accidente hacia el desastre (Figura 2).

Tabla 1.

Elemento del Sistema de Gestión de la Seguridad (SGS)	En Flixborough
i) Organización y personal: Definición de las funciones y responsabilidades del personal asociado a la prevención y gestión de los riesgos de accidentes graves en todos los niveles de organización. Definición de las necesidades formativas del citado personal, así como la organización de actividades formativas y participación de los empleados y del personal subcontratado que trabajen en el establecimiento.	
ii) Identificación de peligros y evaluación de los riesgos de accidentes graves: Adopción y aplicación sistemática de procedimientos tendentes a identificar los riesgos de accidentes graves y evaluar sus consecuencias.	
iii) Control de la explotación: Adopción y aplicación de procedimientos e instrucciones dirigidas al funcionamiento en condiciones seguras, al mantenimiento de las instalaciones, procesos, equipos y paradas temporales.	
iv) Adaptación de las modificaciones: Adopción y aplicación de procedimientos para los proyectos de las modificaciones que deban efectuarse en las instalaciones o zonas de almacenamiento existentes o para el diseño de una nueva instalación, proceso o zona de almacenamiento.	Se realizaron cambios muy importantes en el proceso, sin identificar los peligros y evaluar los riesgos asociados al cambio. La seguridad de operación quedó afectada. Causa raíz: fallo del MOC.
v) La planificación ante situaciones de emergencia: Adopción y aplicación de procedimientos destinados a identificar las emergencias previsibles según un análisis sistemático, así como a elaborar, comprobar y revisar los planes de emergencia y proporcionar la formación ad hoc del personal afectado. Esta formación afectará a todo el personal que trabaje en el establecimiento, incluido el personal subcontratado pertinente.	
vi) Seguimiento de los objetivos fijados: Adopción y aplicación de procedimientos encaminados a la evaluación permanente del cumplimiento de los objetivos fijados por el industrial en el marco de la política de prevención de accidentes graves y del sistema de gestión de seguridad, así como el desarrollo de mecanismos de investigación y de corrección en caso de incumplimiento. Los procedimientos deberán abarcar el sistema de notificación de accidentes graves, en especial cuando se hayan producido fallos de las medidas de protección, y su investigación y seguimiento en base a las lecciones aprendidas.	
vii) Auditoría y revisión: Adopción y aplicación de procedimientos para la evaluación periódica y sistemática de la política de prevención de accidentes graves y de la eficacia y adaptabilidad del sistema de gestión de seguridad.	

Suceso iniciador

La plataforma Piper Alpha utilizaba dos bombas, designadas A y B, para enviar condensado hasta la costa. En la mañana del 6 de julio, la válvula de seguridad de la bomba A fue retirada para un mantenimiento rutinario. Al retirar la válvula, la tubería abierta fue temporalmente sellada con un disco ciego provisional. Debido a que el trabajo de revisión no se completó antes de las 18:00 (cuando se produce el cambio de turno), la brida ciega se mantuvo en su lugar. El supervisor emitió un parte de trabajo en el que se indica que la válvula no estaba colocada y la bomba A no podía ponerse en funcionamiento de ningún modo.

Durante la noche, la bomba B paró (fallo espurio) y no podía ponerse en marcha de nuevo. A toda prisa, y para

mantener la producción, se decidió poner en marcha la bomba A, sin que el supervisor de la operación en ese turno encontrase evidencias en el permiso de trabajo (PTW) de que la bomba A no debía ponerse en marcha debido a que no tenía válvula de seguridad.

A los pocos minutos de iniciarse la puesta en marcha de la bomba A se produjo una fuga importante de gas a alta presión a través de la brida provisional, que rápidamente se inflamó y explotó originando un incendio de petróleo en la plataforma que no pudo ser controlado por el sistema contra incendios de manera automática (al estar en posición manual).

El incendio en Piper Alpha fue en aumento debido al aporte de petróleo que continuaba fluyendo desde las otras plataformas vecinas interconectadas, que continuaron trabajando en condiciones normales sin parar la producción

¿Qué fallo?		
	En Piper Alpha	En Phillips Petroleum Pasadena
	3°. La formación del personal era escasa en todos los ámbitos: la gestión de procedimientos, la respuesta a emergencias, etc.	
	6°. Los principales riesgos de origen (gas a alta presión en la tubería) fueron identificados, pero ello no repercutió en la implantación de medidas adecuadas de prevención o protección.	
	1°. El sistema de permisos de trabajo (PTW) no se gestionaba adecuadamente. Las investigaciones demostraron que los permisos se cumplimentaban como una pura formalidad y eran totalmente ineficaces. Causa raíz: fallo del procedimiento PTW en operación de mantenimiento.	El bloqueo y la consignación de la válvula especial que permitía realizar de manera segura las operaciones de limpieza de los circuitos de extracción sin parar el reactor era inadecuado o estuvo sometido a error de manobra. Causa raíz: fallo del LOTO.
	4°. Los riesgos asociados a los diferentes cambios introducidos en la plataforma no fueron adecuadamente valorados. Una de estas modificaciones (la interconexión entre plataformas) condicionó de manera definitiva la evolución del accidente inicial hacia el desastre total.	
	2°. El plan de emergencia no estaba operativo en su dos vertientes: - La organizativa (nadie informó adecuadamente al personal sobre lo que se debía hacer en caso de emergencia). - La técnica. Algunos sistemas esenciales de protección, como las bombas contra incendio (que automáticamente deberían entrar en acción), estaban siempre en operación manual.	
	5°. El sistema de la investigación de accidentes/incidentes resultaba totalmente ineficaz, de modo que los principales responsables de la gestión de la compañía desconocían el detalle de los accidentes ocurridos con anterioridad en la propia plataforma, ya que eran imputados a las empresas contratistas.	
	7°. El sistema de control por parte de la Administración también falló. El organismo encargado de este control, el de Energía, no estaba capacitado para ello. Tras el accidente, las competencias pasaron a la comisión de seguridad y salud del Reino Unido (HSE). Hoy en día el HSE es toda una referencia de excelencia en el campo de la prevención de accidentes graves.	

(Claymore y Tartan). Este hecho agravó significativamente el siniestro.

La totalidad de la plataforma fue completamente destruida debido a sucesivas explosiones de los gasoductos interconectados afectados por el fuego (Foto 2).

Consecuencias

- 167 fallecidos, 59 supervivientes.
- Elevado coste económico.
- Destrucción completa de la plataforma y de los gasoductos interconectados.

Causa raíz: fallo del PTW

Aunque se identifica como causa inicial del accidente el escape y posterior incendio/explosión del gas evacuado a través de la brida provisionalmente instalada, en el ámbito organizativo y de la seguridad dicha situación estuvo nuevamente propiciada por un cúmulo de errores asociados a la gestión del mantenimiento programado de la bomba A. Los más destacables fueron:

- Un sistema de permisos de trabajo (PTW) que no era eficaz ni correcto, y que llevó de manera decisiva a la confusión que determinó la puesta en marcha de la bomba A en condiciones inseguras.

Foto 3. Imagen aérea de la planta siniestrada Phillips Petroleum Pasadena



- Un sistema de extinción que se encontraba en operación manual y no pudo controlar automáticamente la situación de incendio inicial.
- La formación del personal para hacer frente a situaciones de emergencia de este tipo era deficiente y los protocolos de respuesta resultaron ineficaces.
- La interconexión entre plataformas propició el escalado del accidente hacia el desastre.

PHILLIPS PETROLEUM PASADENA (1989)

Lugar: Pasadena (Estados Unidos)
 Fecha: 23/10/1989
 Hora: 13:00

Introducción

La planta de Phillips Petroleum estaba instalada en el complejo petroquímico de Pasadena (Texas), ocupando una extensión de 3.200.000 m² [7]. En ella se fabricaban resinas de polipropileno, copolímeros de butadieno-estireno, resinas de polietileno de alta densidad y otros productos de base para las industrias transformadoras de plásticos.

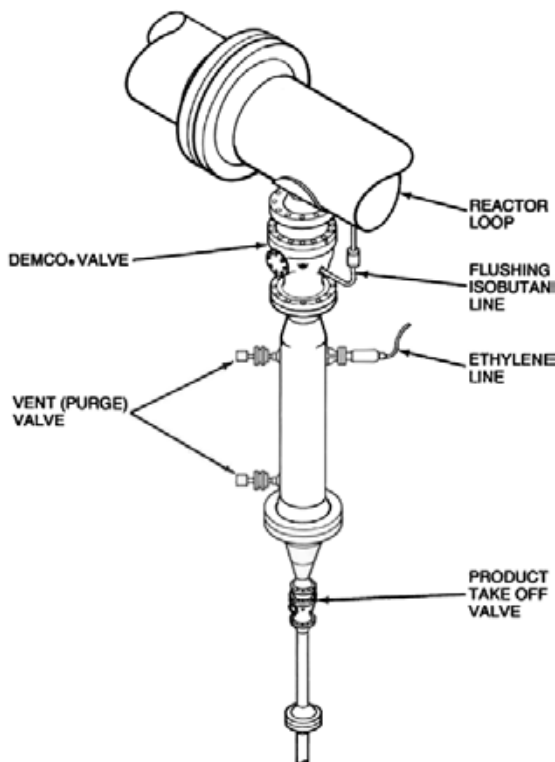
La producción de polietileno de alta densidad se realiza haciendo polimerizar el etileno en un medio disolvente de isobutano y hexano que se hacía circular por un reactor continuo de diseño en anillo ("reactor loop"). El polímero resultante se extraía por la parte inferior del circuito, y posteriormente se secaba y extrusionaba para obtener el plástico en forma de grana.

Circunstancias iniciales

En el día antes del incidente se iniciaron unas operaciones programadas de mantenimiento para limpiar los circuitos de extracción obstruidos con polietileno solidificado. Esta operación podía realizarse a través de una válvula especial sin afectar a la operatividad del reactor. El mantenimiento era realizado por contratistas especializados.

La válvula era accionada neumáticamente y se aseguraba el bloqueo de la misma anulando el sistema de acciona-

Figura 3. Esquema de la válvula de extracción de producto donde se produjo el escape que origino la explosión en la planta Phillips Petroleum Pasadena



miento en la sala de control e insertando un pasador de seguridad en la válvula (Figura 3).

Accidente

Por circunstancias no aclaradas, la válvula se abrió permitiendo el escape incontrolado de 31,7 t de etileno e isobutano al ambiente. Se originó una nube extremadamente inflamable de grandes dimensiones que, a los 2 minutos, encontró un punto de ignición y explotó, arrasando la planta (Foto 3).

Investigaciones posteriores al accidente determinaron que las mangueras de aire comprimido usadas para accionar la válvula se encontraban conectadas (al parecer de modo cruzado) y con el pasador de seguridad retirado. La instalación cruzada podría deberse a que las conexiones de aire para la apertura y cierre de esta válvula eran idénticas. Esto podría haber propiciado un error en la maniobra de la válvula, al no poderse saber si la misma abría o cerraba.

Consecuencias

- 23 trabajadores de la planta fallecidos.
- 314 personas heridas.
- Viviendas cercanas destruidas.
- Coste millonario debido a la destrucción de bienes económicos. (715M \$).
- Interrupción de la actividad de la compañía, valorada en 700M \$.

Causa raíz: fallo del LOTO

- Válvula utilizada con alta posibilidad de conexión cruzada de las mangueras de aire.
- Ausencia de doble válvula o brida ciega para la realización del mantenimiento.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FALLOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD EN LOS CASOS ESTUDIADOS

La Tabla 1 resume de manera simplificada la conexión que puede establecerse entre los procedimientos PTW, MOC y LOTO y los elementos del Sistema de Gestión de la Seguridad (SGS) requeridos por la Directiva SEVESO.

En el caso particular del accidente Piper Alpha, se aportan detalles sobre cómo fueron fallando de manera secuencial (1º, 2º, 3º, etc.) los diferentes elementos del SGS, los cuales podrían haber prevenido o condicionado la evaluación posterior del accidentes hacia el desastre.

CONCLUSIONES

Los casos analizados son un ejemplo claro de la importancia que tienen los procedimientos PTW, MOC y LOTO en las operaciones de mantenimiento industrial.

Asimismo, los accidentes estudiados justifican plenamente la necesidad de impulsar y desarrollar en los establecimien-

tos SEVESO el Sistema de Gestión de la Seguridad impuesto por la Directiva SEVESO. Para ello hay establecer políticas sectoriales de concienciación profesional, de apoyo a la formación de contratistas, y de adiestramiento del personal técnico asignado a operaciones críticas de mantenimiento.

Pese a que los accidentes presentados puedan dar una visión preocupante y alarmista sobre la siniestralidad en las actividades del sector químico, hay que destacar que hoy en día las estrategias de mantenimiento en este sector pueden considerarse como modélicas y de referencia para otros campos de la actividad económica interesados en la seguridad (logística intermodal, transporte ADR, transporte por canalizaciones, etc.).

Por último, el presente artículo refuerza la importancia de dar difusión a las investigaciones sobre accidentes graves que involucran a sustancias peligrosas, cosa que no es habitual en España, y que sí lo es en otros países como Estados Unidos (como ejemplo a seguir, consúltese la web <http://www.csb.gov/>).

Bibliografía

- [1] EC (European Commission), Chemical Accidents (Seveso I, II and III) - Prevention, Preparedness and Response. Disponible en: <http://ec.europa.eu/environment/seveso/index.htm> (2013)
- [2] Generalitat de Catalunya, Requerimiento de los análisis cuantitativos de riesgo a los establecimientos afectados por la legislación de accidentes graves en Cataluña, Instrucción 7/2009
- [3] Planas E., Arnaldos J., Darbra R.M., Muñoz M., Pastor E., Vilchez J.A., Historical evolution of process safety and major-accident hazards prevention in Spain. Contribution of the pioneer Joaquim Casal, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, online 6 May(2013)1-9
- [4] Casal J., Vilchez J.A. El riesgo químico y el territorio, Revista Catalana de Seguretat Pública, Nov(2010)127-152. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/RCS/Article/download/225046/306172>
- [5] Parker R.J. et al. (Chairman), The Flixborough Disaster, Report of the Court of Inquiry, HMSO (1975).
- [6] Drysdale D. D., Sylvester-Evans R. The explosion and fire on the Piper Alpha platform, 6 July 1988. A case study, Phil. Trans R. Soc. Lond. 356(1998)2929-2951
- [7] Yates J. Phillips Petroleum Chemical Plant Explosion and Fire, Report USFA-TR-035, FEMA

ACRÓNIMOS

Principales acrónimos técnicos utilizados en el presente artículo:

- PHA: Process Hazard Analysis
- HAZOP: HAZard and Operability study
- FMEA: Failure Modes and Effects Analysis
- HAZID: HAZard IDentification
- ISD: Inherently Safer Design
- PTW: Permit To Work
- MOC: Management Of Change
- LOTO: Lock Out Tag Out
- HSE: Health and Safety Executive
- VCE: Vapour Cloud Explosion
- CSB: Chemical Safety Bureau