

Reglas de Oro en Seguridad de Procesos para:

Sulfuro de hidrogeno



Agradecimientos

El Instituto Americano de Ingenieros Químicos (The American Institute of Chemical Engineers - AIChE) y el Centro de la Seguridad para los Procesos Químicos (Center for Chemical Process Safety - CCPS) expresa su reconocimiento y gratitud a todos los miembros del subcomité del proyecto Reglas de oro de seguridad de procesos para tecnologías específicas por sus generosos esfuerzos en el desarrollo y preparación de esta importante guía. CCPS también desea agradecer a las respectivas empresas de los miembros del subcomité por apoyar su participación durante las diferentes fases de este proyecto.

Miembros del Equipo del Subcomité Central:

Denise Chastain-Knight, Chair	Exida
Della Mann	Vice Chair
Warren Greenfield	CCPS Consultant
Denise Albrecht	3M
Kevin Campbell	Shell
Walt Frank	CCPS Emeritus
Anil Gokhale	CCPS Staff
Mike Hazzan	Acutech
Ng Ern Huay	Petronas
Pete Lodal	D&H Process Safety
Frank Renshaw	CCPS Emeritus
Louisa Nara	CCPS Staff
Linda Bergeron	CCPS Emeritus
Jeff Fox	CCPS Emeritus
Curtis Clements	Chemours

Miembros del Subcomité de Sulfuro de Hidrogeno:

Della Mann, Lead	CCPS Emeritus
Gary Amideneau	CCPS Staff
Andy Crerand	Shell
Andrew Moulder	Inter Pipeline
Jason Vercher	Arkema

La experiencia industrial colectiva y los conocimientos técnicos de los miembros del subcomité hacen que esta guía sea especialmente valiosa para quienes desarrollan y gestionan programas de seguridad de procesos y sistemas de gestión.

Antes de su publicación, todas las pautas de CCPS se someten a un proceso de revisión por pares. CCPS agradece los atentos comentarios y sugerencias de los revisores. Su trabajo mejoró la precisión y claridad de esta guía.

Revisores pares de las Reglas de oro para el Ácido sulfhídrico:

Steven Betteridge	Shell
Danielle Brown	Buckeye Partners
Andrew Goddard	Arkema
Rizal B Harris Wong	Petronas

Aunque los revisores proporcionaron comentarios y sugerencias, no se les pidió que respaldaran esta guía y no revisaron el manuscrito final antes de su publicación.

El Instituto Americano de Ingenieros Químicos (The American Institute of Chemical Engineers - AIChE) y el Centro de la Seguridad para los Procesos Químicos (Center for Chemical Process Safety - CCPS) expresa su reconocimiento y gratitud a la empresa Pryxida TECH y todos los miembros del subcomité de traducción, por su generoso apoyo y contribuciones técnicas en la traducción y revisión de este documento. CCPS también desea agradecer a las respectivas empresas de los miembros del subcomité por apoyar su participación durante las diferentes fases de este proyecto

Néstor H Spósito CCPS Staff Consultant. Project Manager

Traducción:

- Vanesa Trillos Pryxida TECH
- Jenny Calderon Pryxida TECH
- Maria Cartagena Pryxida TECH
- Paula Aguilar Pryxida TECH
- Andres Maldonado Pryxida TECH
- Julian Ospina Pryxida TECH
- Luis Santander Pryxida TECH
- Sergio Antolinez Pryxida TECH
- William Gutierrez Pryxida TECH

Revisión de Traducción

- Alfonso Orsini LDC
- Martin Oliva Vista
- Juanita Corridor ERM

Revisión de Pares

- Néstor H Spósito CCPS

El Centro para la Seguridad de los Procesos Químicos (Center for Chemical Process Safety) fue establecido por el Instituto Americano de Ingenieros Químicos (American Institute of Chemical Engineers) en 1985 para enfocarse en las prácticas de ingeniería y administración para prevenir y mitigar incidentes importantes relacionados con la liberación de químicos e hidrocarburos peligrosos. CCPS está activo en todo el mundo a través de su programa de publicaciones integral, conferencia técnica anual, investigación y material instructivo para la educación de pregrado en ingeniería. Para obtener más información sobre CCPS, llame al (+1) 646-495-1371, envíe un correo electrónico a ccps@aiche.org o visite www.aiche.org/ccps

Este documento está disponible para su uso sin obligación legal o suposiciones (es decir, use bajo su propio riesgo). Las correcciones, actualizaciones, adiciones, sugerencias y recomendaciones deben enviarse al Dr. Anil Gokhale, director sénior de proyectos CCPS. a anilg@aiche.org

Si está leyendo esto fuera de línea, es posible que no esté leyendo la última versión. Consulte el sitio web de CCPS para ver la versión actual. <https://www.aiche.org/ccps/tools/golden-rules-process-safety>

Se espera sinceramente que la información presentada en este documento conduzca a un historial de seguridad aún más impresionante para toda la industria; sin embargo, ni el Instituto Americano de Ingenieros Químicos (the American Institute of Chemical Engineers), sus consultores, el Comité Directivo Técnico y los miembros del Subcomité de CCPS, sus empleadores, los funcionarios y directores de sus empleadores, y sus empleados garantizan o representan, expresa o implícitamente, la exactitud o exactitud del contenido. de la información presentada en este documento. Entre (1) el Instituto Americano de Ingenieros Químicos (the American Institute of Chemical Engineers), sus consultores, los miembros del Comité Directivo Técnico y del Subcomité de CCPS, sus empleadores, sus funcionarios y directores de empleadores, y sus empleados y subcontratistas, y (2) el usuario de este documento, el usuario acepta cualquier responsabilidad legal o responsabilidad alguna por las consecuencias de su uso o mal uso.

Tabla de Contenido

Regla de Oro #1: Comprenda y respete siempre las propiedades peligrosas del H ₂ S.....	2
Regla de Oro #2: Conozca siempre dónde existe o puede producirse el peligro de H ₂ S.....	9
Regla de Oro #3: Establezca siempre controles de prevención contra una liberación de H ₂ S.....	14
Regla de Oro #4: Siempre desarrolle medidas de mitigación en caso de una liberación de H ₂ S.....	17
Regla de Oro #5: Siempre investigue los incidentes de H ₂ S para mejorar los sistemas de gestión.	22
Referencias.....	27

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #1: Comprenda y respete siempre las propiedades peligrosas del H₂S

Regla de Oro #1: Comprenda y respete siempre las propiedades peligrosas del H₂S

❖ ¿Por qué?:

- 1) El H₂S es tóxico a concentraciones extremadamente bajas.
- 2) El H₂S es inflamable [1].
- 3) La presencia de H₂S es difícil de detectar dado que el gas es incoloro.
- 4) El H₂S huele a huevos podridos, pero a altas concentraciones las personas perderán la habilidad de oler el gas a medida que se vuelve letal.
- 5) El H₂S es más pesado que el aire y se acumulará en áreas bajas.
- 6) Cuando el H₂S se quema, genera dióxido de sulfuro (SO₂), que también es tóxico.
- 7) El H₂S puede resultar de la reacción de algunos compuestos azufrados en contacto con soluciones ácidas.
- 8) El H₂S puede resultar de la descomposición de materiales orgánicos en la ausencia de oxígeno como puede ser el tratamiento de aguas residuales.
- 9) El H₂S al combinarse con agua puede producir ácido sulfúrico (H₂SO₄), el cual es un ácido corrosivo [2].
- 10) El óxido de hierro se convierte en sulfuro de hierro en presencia de H₂S. El Sulfuro de hierro puede encenderse espontáneamente para producir fuego (i.e. es pirofórico)
- 11) El H₂S es una forma muy agresiva de hidrato (i.e., El H₂S forma fácilmente uno de los hidratos de más alta temperatura de fusión en presencia de agua). Esta característica permite que durante la producción, procesamiento o transporte de crudos ácidos (aceites de petróleo ácidos), puedan ocurrir restricciones de flujo por la formación de hidratos de H₂S [3].
- 12) Puede existir una falsa sensación de seguridad, por ejemplo:
 - a) Cuando los empleados, contratistas y visitantes tienen poca o ninguna experiencia con el H₂S.
 - b) Cuando el potencial de exposición (peligro) del H₂S no se entiende bien.
 - c) Cuando hay experiencias pasadas con el H₂S que no generaron daño. Esto puede minimizar el potencial daño y peligro del H₂S.
- 13) Historial de Incidentes:
 - a) En la madrugada del 26 de octubre de 2019 se produjo una falla en un equipo de bombeo dentro de una casa de bombas resultando en la liberación de agua que contenía H₂S. Un empleado se dirigió hacia el lugar para atender una alarma de nivel de aceite de la bomba. Luego de ingresar a la casa de bombas, el empleado se encontró en una nube de gas de H₂S que le dejó inconsciente. Alrededor de las 9:30 pm, al no haber recibido noticias de su esposo durante horas, la esposa del empleado condujo en su vehículo personal, con sus dos hijos hacia la casa de bombas, para verificar que todo estuviera bien. La esposa entró al sitio y también se encontró en una nube de gas de H₂S que le dejó inconsciente. Los primeros respondientes de la emergencia llegaron más tarde y se dieron cuenta de la presencia de los dos niños en el asiento de atrás del vehículo de la esposa. Uno de los respondientes se colocó los elementos de protección personal, incluido un aparato de respiración autónomo (SCBA) e ingreso a la casa de bombas. La exposición al gas fue letal para el empleado y su esposa [4]. Los niños fueron rescatados del vehículo.

La lección de este incidente, muy importante para esta Regla de Oro, es que ni la Gerencia ni los empleados entendían el peligro del H₂S, lo que se evidenció en:

- (1) No se usó el equipo protector adecuado (i.e., Se falló en el uso del detector de H₂S suministrado por la compañía)

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #1: Comprenda y respete siempre las propiedades peligrosas del H₂S

- (2) Bloqueo y etiquetado ineficaz.
- (3) Diseño inadecuado de ventilación mecánica que llevó a la confinación de H₂S en la casa de bombas
- (4) Sistema de alarmas y detectores fijos de H₂S que no funcionaban
- (5) Seguridad del sitio deficiente
- (6) Inadecuada señalización/entendimiento de la situación y del daño potencial de una casa de bombas donde había equipos que contenían H₂S; ver la Figura 1 para la señalización adecuada.



Figura 1. Tenga en cuenta los peligros tóxicos del H₂S y tome medidas

Fuente: Shutterstock.com

-  El 23 de diciembre de 2003, a las 9:55 pm, un pozo de gas explotó, lo que resultó en una nube de gas natural y H₂S tóxico, que se extendió a una altura de 30 metros. Esta nube cubrió 25 kilómetros cuadrados y tuvo como resultado 234 fatalidades, más de 1000 heridos y cientos de pérdidas de ganado. Hubo una demora de alrededor de 1.5 horas antes que los oficiales de seguridad fueran informados. La topografía montañosa llevó a que el H₂S se acumulará en ubicaciones pobladas a baja altura. La Figura 2 muestra el área afectada. En total, 60.000 personas fueron evacuadas. Equipos especializados lograron llegar a las áreas afectadas al cuarto día. Al quinto día se logró controlar la fuga y un día después, las personas lograron retornar a sus hogares [5].

El aprendizaje pertinente para esta Regla de Oro es que no había entendimiento ni respeto del peligro asociado al H₂S. Cada una de las siguientes deficiencias no hubieran existido si los peligros hubiesen sido entendidos:

- (1) En ese momento, las regulaciones no consideraban la magnitud del peligro del H₂S y permitían que las casas se construyeran a menos de 30 metros (98 pies) del pozo.
- (2) No se siguieron los procedimientos operativos.
- (3) El incidente se reportó muy tarde para que hubiera una respuesta de emergencia efectiva.
- (4) La respuesta de emergencia se llevó a cabo inicialmente con muy poco conocimiento y escaso equipo de protección para H₂S.

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #1: Comprenda y respete siempre las propiedades peligrosas del H₂S

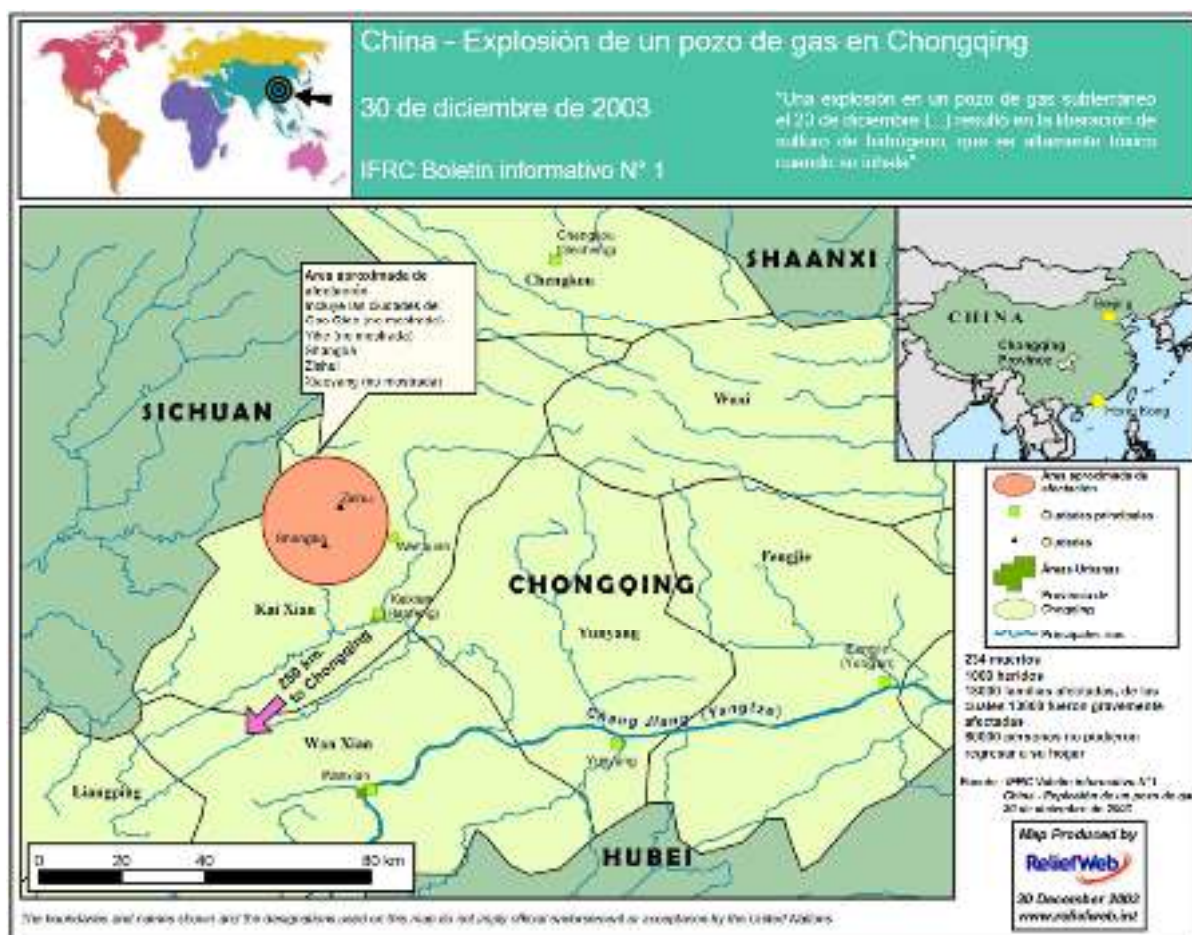


Figura 2. Área significativa de impacto por una liberación de H₂S a la atmósfera

Fuente: [5]

❖ Cómo – Todos los usuarios

1. Conozca si puede estar potencialmente expuesto al H₂S en su área tomando las capacitaciones adecuadas [6] para comprender los peligros del H₂S, incluyendo:
 - a. El H₂S es tóxico.
 - b. Los niveles generales de preocupación por el H₂S. Los efectos a corto plazo sobre la salud pueden ocurrir a bajas concentraciones, mientras que el personal puede quedar rápidamente incapacitado a niveles moderados, como se muestra en la Tabla 1.
 - c. El H₂S puede reducir su sentido del olfato.
 - d. El H₂S es inflamable, como se muestra en la Tabla 1.
 - e. El H₂S se puede acumular en áreas bajas porque es más pesado que el aire.
 - f. El H₂S es incoloro.
 - g. El H₂S es soluble en agua y en hidrocarburos.

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #1: Comprenda y respete siempre las propiedades peligrosas del H₂S

Las liberaciones de H₂S pueden desplazarse distancias significativas.

Tabla 1 Peligros del Sulfuro de Hidrógeno - OSHA

Peligros para la salud

El gas de sulfuro de hidrógeno causa una amplia gama de efectos sobre la salud. Los trabajadores están expuestos principalmente al sulfuro de hidrógeno al respirarlo. Los efectos dependen de la cantidad de sulfuro de hidrógeno que respire y durante cuánto tiempo. La exposición a concentraciones muy altas puede llevar rápidamente a la muerte.

Los síntomas y efectos a corto plazo (también llamados agudos) se muestran a continuación:

Límites de exposición para los trabajadores	Concentración (ppm)	Síntomas/Efectos
NIOSH REL (límite de 10 minutos): 10 ppm		
OSHA		
Límite general en la industria : 20 ppm	0.00011-0.00033	Concentraciones típicas del ambiente
Límite máximo general en la industria: 50 ppm (hasta 10 minutos si no hay otra exposición durante el turno)	0.01-1.5	Umbral de olor (cuando el olor a huevo podrido es notable para algunos). El olor se vuelve más intenso de 3-5 ppm. Por encima de 30 ppm, el olor se describe como dulce o empalagoso.
Límite de 8 horas en construcción: 10 ppm		
Límite de 8 horas en astilleros: 10 ppm		
NIOSH IDLH: 100 ppm	2-5	La exposición prolongada puede causar náuseas, lagrimeo de los ojos, dolores de cabeza o pérdida de sueño. Problemas respiratorios (obstrucción bronquial) en algunos pacientes con asma.
IDLH: inmediatamente peligroso para la vida y la salud (nivel que interfiere con la capacidad de escapar) (NIOSH)	20	Posible fatiga, pérdida de apetito, dolor de cabeza, irritabilidad, problemas de memoria, mareos.
PEL: límite de exposición permisible (exigible) (OSHA)	50-100	Conjuntivitis leve ("ojo de gas") e irritación del tracto respiratorio después de 1 hora. Puede causar malestar digestivo y pérdida de apetito.
ppm: partes por millón	100	Tos, irritación ocular, pérdida del olfato después de 2-15 minutos (fatiga olfativa). Respiración alterada, somnolencia después de 15-30 minutos. Irritación de la garganta después de 1 hora. Aumento gradual de la severidad de los síntomas después de varias horas. La muerte puede ocurrir después de 48 horas.
REL: límite de exposición recomendado (NIOSH)	100-150	Pérdida del olfato (fatiga olfativa o parálisis).
	200-300	Conjuntivitis marcada e irritación del tracto respiratorio después de 1 hora. Puede ocurrir edema pulmonar por exposición prolongada.
	500-700	Inestabilidad, colapso en 5 minutos. Daño grave a los ojos en 30 minutos. Muerte después de 30-60 minutos.
	700-1000	Inconsciencia rápida, "caída" o colapso inmediato dentro de 1 a 2 respiraciones, la respiración se detiene, muerte en minutos.
	1000-2000	Muerte casi instantánea.

Nota al pie: No se conoce con precisión la concentración exacta y el tiempo de exposición en el cual ocurren diferentes efectos fisiológicos. Diferentes entidades industriales utilizan niveles límite ligeramente diferentes para categorizar los efectos fisiológicos, incluida la fatalidad. Por lo tanto, la tabla publicada por OSHA sólo debe usarse como una guía aproximada para gestionar el peligro del H₂S, especialmente en niveles de concentración más altos. Fuente: OSHA [7]

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #1: Comprenda y respete siempre las propiedades peligrosas del H₂S

Tabla 2 Ficha Internacional de Seguridad Química del Sulfuro de Hidrógeno

Sulfuro de Hidrogeno	Formula: H2S	CAS#: 7783-06-4	RTECS#: MX122500	IDLH: 100 ppm
Conversión: 1 ppm = 1.40 mg/m³	DDT: 1953 117			
Sinónimos/Nombres comerciales: Ácido sulfhídrico, gas de alcantarilla, hidrógeno sulfurado				
Límites de Exposición: NIOSH REL: C 10 ppm (15 mg/m³) [10 minutos] OSHA PEL: C 20 ppm 50 ppm [pico máximo de 10 minutos]			Métodos de Medición (ver Tabla 1): NIOSH 6013 OSHA ID141	
Descripción Física: Gas incoloro con un fuerte olor a huevecillos podridos. [Nota: El sentido del olfato se fatiga rápidamente y NO se puede confiar en él para advertir de la presencia continua de H2S. Enviado como gas comprimido licuado.]				
Propiedades Físicas y Químicas Peso Molecular: 34.1 Punto de Ebullición: -77°F Solubilidad: 0.4% Punto de Inflamación: NA (Gas) Potencial de ionización: 10.45 eV Densidad del gas relativa: 1.19 Presión de vapor: 17.6 atm Punto de congelamiento: -122°F LEL: 4.0% LEL: 1.0% Gas inflamable		Protección Personal/Saneamiento (ver Tabla 2) Piel: Congelación Ojos: Congelación Lavar piel: N.R. Remove: Cuando este mojado (Inflamable) Cambio: N.R. Proveer: Lavado para congelación		Recomendaciones de Respiradores (ver Tablas 3 y 4) NIOSH 100 ppm: Pp1S/GmFS/Su*/ScbaF 5: ScbaF; Pd, Pp/SuF; Pd, Pd:AScba Escape: GmFS/ScbaE
Incompatibilidades y Reactividades: Oxidantes fuertes, Ácido nítrico fuerte, metales. Vías de Exposición, Síntomas, Órganos Afectados (ver Tabla 5) VE: Inhalación, contacto con la piel y/o los ojos. SE: Irritación de los ojos, sistema respiratorio; apnea, coma, convulsiones; conjuntivitis, dolor ocular, lagrimeo [secreción de lágrimas], fotofobia (intolerancia anormal a la luz), vesiculación corneal; mareos, dolor de cabeza, extenua (debilidad, agotamiento), irritabilidad, insomnio; trastornos gastrointestinales; líquidos: congelación. OA: Ojos, sistema respiratorio, sistema nervioso central.			Primeros Auxilios (ver Tabla 8) Ojos: Congelación Piel: Congelación Respiración: Soporte respiratorio	

Fuente: [8]

❖ Cómo – Operadores, Mecánicos y Técnicos:

- 1) Conocer todas las propiedades del H₂S.
- 2) Comprender la naturaleza de los peligros del H₂S.
- 3) Entender los requisitos del equipo de protección personal (EPP) para el H₂S (Ver *Figura 3*), incluidos los detectores personales .
- 4) Comprender el Sistema de notificación de alarmas para liberaciones de H₂S.
- 5) Desarrollar y/o colaborar en la construcción de los Procedimientos Operativos que aborden el peligro del H₂S.
- 6) Comprender los procedimientos adecuados de respuesta ante exposiciones al H₂S.
- 7) Incluir consideraciones frente a la exposición al H₂S en los Permisos de Trabajo y en los Análisis de Peligros Laborales, cuando exista un peligro potencial frente al H₂S.
- 8) Seguir los procedimientos de descontaminación y limpieza (desgasificación) de H₂S al retirar equipos que contenían H₂S.
- 9) Tener en cuenta la posible presencia del sulfuro de hierro pirofórico que puede aparecer cuando el H₂S está en contacto con el hierro. Tener precaución al abrir equipos en los que esto pueda ocurrir.
- 10) Observar las prácticas frente al H₂S de sus compañeros de trabajo y proporcionar retroalimentación positiva/constructiva para fomentar buenos comportamientos relacionados con las prácticas frente al H₂S.

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #1: Comprenda y respete siempre las propiedades peligrosas del H₂S



Los EPP normales son insuficientes para atender un escape de H₂S



Uso de aparatos respiratorios de corta duración para escape



Uso de aparatos respiratorios para atender la emergencia



Uso de aparatos respiratorios junto con trajes de protección química para atender la emergencia

Figura 3. Seleccionando los elementos de protección personal (EPPs) correctos

Fuente: Imágenes 1, 2 y 3: Shutterstock, Imagen 4: CSB

❖ Cómo – Gerentes:

- 1) Proporcionar entrenamiento adecuado a todos los trabajadores que estén potencialmente expuestos al H₂S.
- 2) Asegurarse que las propiedades peligrosas del H₂S estén documentadas en la base de datos de la Información de Seguridad del Proceso
- 3) Definir y hacer cumplir las expectativas de seguridad para todos los trabajadores alrededor de los peligros del H₂S.
- 4) Garantizar que los estudios cualitativos/cuantitativos, como el Análisis Cuantitativo de Riesgos/ Análisis de Peligros de Proceso/ Identificación de Peligros (QRA/PHA/HAZID) sean completados por personas competentes con el nivel adecuado de entendimiento de los peligros del H₂S y el nivel correcto de comprensión del (los) sistemas bajo análisis.
- 5) Establecer, documentar y publicar una política de H₂S en todos los lugares apropiados donde se especifique qué estándares y regulaciones se aplicarán, junto con los requisitos adicionales de la empresa que puedan exceder dichos estándares y regulaciones.
- 6) Implementar políticas para la gestión de riesgos relacionadas con liberaciones intencionales de H₂S, cuando otros métodos de eliminación del H₂S no sean posibles o apropiados. Esta muy rara situación justifica un análisis de riesgos exhaustivo.
- 7) No tolerar el olor característico del H₂S en el lugar de trabajo, incluso si la concentración de H₂S está por debajo del nivel de exposición admisible. Consulte la lectura complementaria, "Perfil Toxicológico del Sulfuro de Hidrógeno y del Sulfuro de Carbonilo" [9] para obtener más información.

❖ Cómo – Ingenieros y Diseñadores:

- 1) Buscar capacitación adecuada si potencialmente puede estar expuesto al H₂S o si está involucrado en diseños relacionados con el H₂S.
- 2) Seguir las normas/estándares de diseño de H₂S pertinentes.
- 3) Tener señalización en todos los sitios donde exista un peligro de H₂S.
- 4) Proporcionar alarmas visuales y audibles para alertar a las personas sobre una liberación de H₂S.

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #1: Comprenda y respete siempre las propiedades peligrosas del H₂S

- 5) Revisar y registrar la información de la composición del proceso del H₂S, incluidas las posibles reacciones secundarias. Estas reacciones secundarias deben incluir escenarios creíbles que puedan poner al H₂S en contacto con otros materiales presentes en el sitio, aunque sea poco probable.
- 6) Participar/apoyar estudios cualitativos/cuantitativos (como el QRA/PHA/HAZID) que aborden los peligros del H₂S.

❖ Cómo –Brigadistas:

- 1) Saber que se pueden usar rociadores de agua para dispersar una nube de H₂S.
- 2) Tener precaución con el manejo y almacenamiento de agua de escorrentía usada para dispersión de H₂S. El personal de respuesta debe conocer el peligro de la solubilidad del H₂S en agua, ya que el agua que contiene H₂S podría representar un riesgo para la salud.
- 3) Debido a la naturaleza dinámica de las situaciones de emergencia y la toxicidad del H₂S, siempre estar preparado para usar el nivel de protección más alto (ver Regla de Oro 4) al responder a un evento de liberación de H₂S.

❖ Lectura Complementaria:

- API RP 55 Recommended Practice for Oil and Gas Producing and Gas Processing Plant Operations Involving Hydrogen Sulfide [3]
- Small, Portable Oil & Gas Production Facilities: Recommended Solutions for Design and Operation (Safety Guide) [6]
- OSHA: Hydrogen Sulfide – Hazards [7]
- Toxicological Profile for Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfid [9]
- Killer Gas Bulletin CH026, Government of Alberta [10]
- Risk Based Process Safety, Chapters 8 and 9 [11, pp. 169-244]
- API 49 Recommended Practice for Drilling and Well Servicing Operations Involving Hydrogen Sulfide [12]
- Environmental Health Criteria 19 Hydrogen Sulfide [13]
- API STD 2015 Requirements for Safe Entry and Cleaning of Petroleum Storage Tanks [14]
- Lethal Service – Quick Guide [15]
- ASME, Section VIII Boiler and Pressure Vessel Code Division 1 Section UW-2 [16]
- Toxicological Review of Hydrogen Sulfide [17]
- Substance Information – Hydrogen Sulphide [18]
- H₂S Release Rate Assessment and Audit Forms [19]

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #2: Conozca siempre dónde existe o puede producirse el peligro de H₂S

Regla de Oro #2: Conozca siempre dónde existe o puede producirse el peligro de H₂S

❖ ¿Por qué?:

- 1) Saber dónde puede existir o producirse H₂S es fundamental para la gestión de riesgos.
- 2) La falta de conocimiento puede ser causada por una escasa conciencia, reconocimiento o evaluación de los peligros del H₂S.
- 3) El H₂S existe en la naturaleza y en una amplia gama de industrias/lugares, incluyendo el proceso de curtido de cuero, en la industria papelera, en la industria química, en la de tintes, en el material orgánico en descomposición, en plantas de tratamiento de aguas residuales, en el agua de mar estancada, en aguas termales y en la extracción de minerales y producción de petróleo y gas [20]. Han ocurrido muchos incidentes en los que las personas no se prepararon para el peligro del H₂S porque no sabían dónde podría existir o producirse el H₂S:
 - a) Las personas no conocían las reacciones que produce el H₂S. Las reacciones pueden surgir por mezclas intencionadas (por ejemplo, limpieza química con un lavado de ácido clorhídrico en un recipiente que contiene agua con H₂S), mezcla de productos químicos fuera de secuencia o por mezclas inadvertidas. [21] [22] [23].
 - b) Las personas no sabían que el H₂S podía acumularse en áreas bajas. Tenían un conocimiento deficiente sobre la seguridad de procesos y no reconocían que había ocurrido una reacción química que generaba H₂S.
 - c) Las personas no tenían conciencia del trabajo que se realizaba en un área adyacente, (por ejemplo, trabajo simultáneo en diferentes alturas). La dispersión de una liberación de H₂S puede no ser fácilmente evidente, ya que puede migrar dentro/fuera de edificios o dentro/fuera de ubicaciones adyacentes. [24].
 - d) Las personas acudieron para ayudar a las víctimas afectadas, sin darse cuenta de que se estaban exponiendo al peligro del H₂S. Muchos tienen una reacción espontánea innata para ayudar a las víctimas. Las personas tienen una reacción automática de ayudar a los demás primero (antes de garantizar su propia seguridad).
 - e) Las personas tenían poca conciencia de la nube de H₂S debido a su invisibilidad.
 - f) Las personas no estaban preparadas para condiciones inesperadas que condujeran a una liberación de H₂S.
- 4) Conocer si el H₂S está o podría estar presente permite que la gerencia, ingeniería, operaciones, mantenimiento y los servicios de emergencia tomen medidas proactivas para prevenir incidentes de seguridad de procesos relacionados con el H₂S. Ver también la Regla de Oro #3 y la Regla de Oro #4.
- 5) Historial de incidentes:
 - a) Trabajadores contratistas de la construcción estaban trabajando en una fábrica de pulpa y papel. El 15 de enero de 2002, se descargó hidrosulfuro de sodio (NaSH) en la estación de descarga de camiones cisterna. La plataforma de la estación de descarga drenaba en un pozo de recolección que recogía agua condensada y ocasionalmente productos químicos derramados (por ejemplo, NaSH) durante la operación de descarga. El pozo podría drenarse a una alcantarilla, como se muestra en la Figura 4. Sin embargo, debido a preocupaciones ambientales, la válvula de drenaje del pozo a la alcantarilla generalmente estaba cerrada con llave. El día del incidente, el 16 de enero de 2002, el pozo contenía una cantidad apreciable de solución de NaSH diluida con agua. Para evitar que el equipo de construcción permaneciera en el pozo lleno de líquido, un operador desbloqueó y abrió una válvula para drenar el contenido del pozo en la alcantarilla. Después de 5 minutos, la válvula se cerró y se volvió a bloquear.

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #2: Conozca siempre dónde existe o puede producirse el peligro de H₂S

El día del incidente, se agregó ácido sulfúrico a la alcantarilla para controlar el pH en el área de tratamiento de efluentes aguas abajo. El ácido sulfúrico reaccionó con el NaSH en la alcantarilla, produciendo H₂S. Una grieta en el sello de la alcantarilla permitió la liberación del gas H₂S, que se desplazó hacia el área donde estaban los trabajadores de construcción. Dos de los trabajadores de la construcción cerca de la entrada resultaron fatalmente heridos por envenenamiento con H₂S. Además, siete trabajadores de la construcción y un conductor de camión resultaron heridos debido a la exposición al H₂S [25].

La lección relevante de esta Regla de Oro es que existía la posibilidad de que se creara H₂S cuando se comprometió el aislamiento entre el pozo y la alcantarilla.

- (1) La empresa no comunicó a los trabajadores involucrados en la entrega, descarga y manipulación de NaSH, que la mezcla con ácido crea H₂S.
- (2) El H₂S no fue identificado como un peligro en el área inmediata de la planta donde ocurrió el incidente. Por este motivo, no había monitores, alarmas ni señales de advertencia en el área.
- (3) Los ingenieros de diseño no evaluaron el potencial de generación de H₂S cuando conectaron el drenaje de la estación de descarga al sistema de alcantarillado ácido de la planta [26].
- (4) El personal de mantenimiento no estaba al tanto de la importancia de mantener un sistema de alcantarillado ácido herméticamente cerrado.

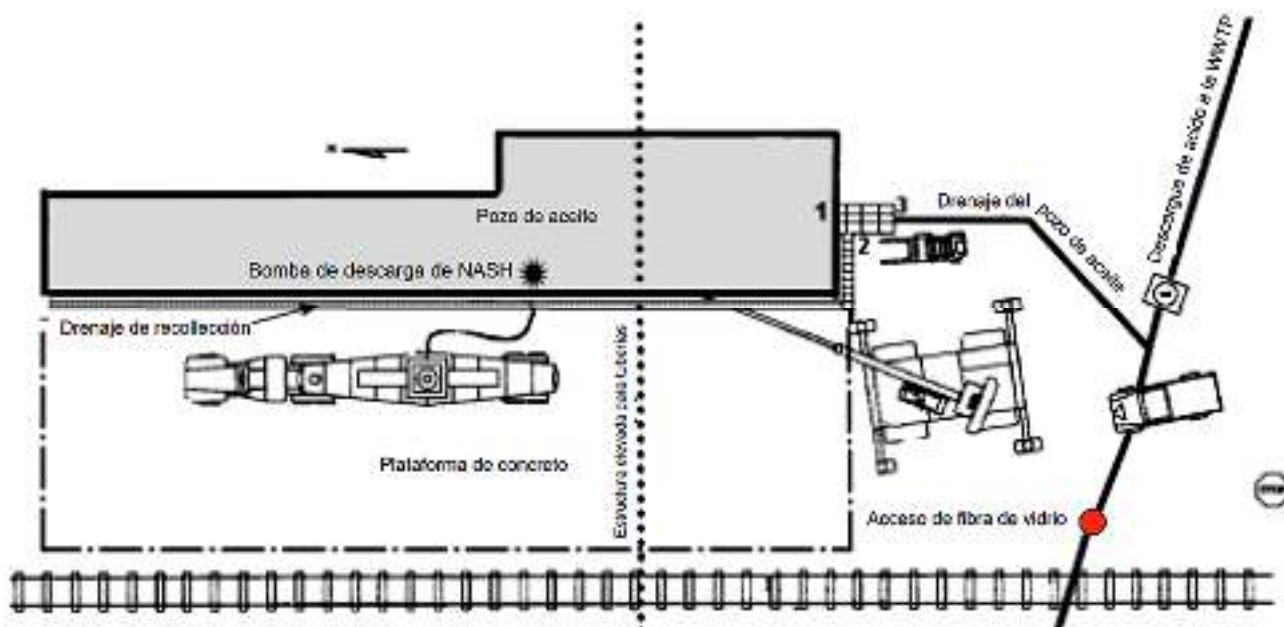


Figura 1

Figura 4. Falla del equipo crítico de seguridad del sistema de alcantarillado ácido – tapa de alcantarilla no sellada que expuso a 9 personas al H₂S

Fuente: Junta de Investigación de Riesgos y Seguridad Química de EE. UU [25]

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #2: Conozca siempre dónde existe o puede producirse el peligro de H₂S

❖ Cómo – Todos los usuarios

- 1) Conocer las posibles ubicaciones de H₂S en su área local o cuando visite una nueva área. Por ejemplo,
 - a) en la industria del cuero, el H₂S puede existir en el pre-curtido de pieles crudas.
 - b) en sistemas de agua de mar estancada, el H₂S puede producirse por la acción de ciertos tipos de bacterias.
 - c) en sistemas de alcantarillado donde se puede producir H₂S por la descomposición de la materia orgánica.
 - d) en una refinería, el H₂S puede existir en muchas unidades
 - e) en un sitio de producción de H₂S, el H₂S existe en todo el sitio.
- 2) Seguir las instrucciones de la señalización. No ingrese a áreas restringidas con H₂S sin permiso.
- 3) Preguntar dónde puede estar presente el H₂S.
- 4) Asistir a cualquier capacitación o presentación de concientización proporcionada para asegurar una comprensión de todos los peligros del H₂S, los lugares potenciales de exposición y los procedimientos de respuesta en caso de emergencia.
- 5) Comprender y estar al tanto de todas las alarmas proporcionadas para señalar una liberación de H₂S.
- 6) Conocer las rutas de evacuación designadas y los requisitos de los puntos de reunión.
- 7) Comprender el uso y cumplir con los requisitos de equipos de protección personal. Por ejemplo, algunos sitios pueden requerir que el personal lleve respiradores de evacuación de emergencia al trabajar o visitar áreas con un potencial particularmente alto de emisiones de H₂S.

❖ Cómo – Operaciones & Mantenimiento:

- 1) Asistir a capacitaciones avanzadas para Operaciones, Mecánicos y Técnicos asociadas con los peligros del H₂S, las ubicaciones del H₂S, y el potencial de exposición, incluidos los procedimientos de respuesta a emergencias.
- 2) Informar todas las observaciones de liberaciones de H₂S y comunique los peligros potenciales que otros tal vez no entiendan bien.
- 3) Al cambiar el estado operativo del proceso, siempre revisar la alineación del proceso para saber si se encuentra en un estado seguro con respecto al H₂S durante la transición, especialmente cuando se involucren los límites del proceso. Un dibujo marcado puede ayudar a identificar las ubicaciones clave de aislamiento de H₂S. Esto permitirá conocer dónde existe el H₂S [27] [28].
- 4) Cuando se requieran trabajos de mantenimiento en equipos que contienen H₂S, asegurarse que el análisis de la tarea del trabajo esté aprobado y que exista un análisis de riesgos para esta situación [29].
- 5) Debido a los peligros del H₂S, tener precaución cuando sea necesario desviarse de los pasos del procedimiento. La historia del incidente ha demostrado que pueden ocurrir reacciones químicas no deseadas. Siga el Manejo del Cambio con una Revisión de Peligros de Proceso, si corresponde. Consultar las lecturas complementarias "CCPS, Guidelines for Writing Effective Operations and Maintenance Procedures, Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 1996." y "CCPS, Human Factors for Process Plant Operations: A Handbook, Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 2022". [30] [31].
- 6) Asegurarse de que los procedimientos operativos y de mantenimiento aborden adecuadamente dónde existe o puede producirse el H₂S.
- 7) Considerar la posible presencia de H₂S al establecer programas de mantenimiento. Ver también la Regla de Oro #3.

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #2: Conozca siempre dónde existe o puede producirse el peligro de H₂S

❖ Cómo – Gerentes:

- 1) Establecer medidas de seguridad basadas en el riesgo para impedir el acceso del público a las instalaciones químicas [32]. Esto puede incluir señales de advertencia de sustancias químicas tóxicas, videovigilancia o cercas perimetrales.
- 2) Brindar capacitación para concientizar a los trabajadores que puedan estar expuestos al H₂S. Deben ser conscientes de los peligros de su lugar del trabajo. [33]
- 3) Patrocinar un grupo multidisciplinario para participar en la identificación y evaluación de peligros de los procesos para identificar dónde puede existir o producirse H₂S, incluyendo posibles reacciones químicas no deseadas que generen H₂S.
- 4) Comunicar ampliamente las ubicaciones de las fuentes de peligro de H₂S junto con las características del H₂S y los procedimientos de respuesta de emergencia asociados con el H₂S.
- 5) Exigir un nivel apropiado de sistemas de detección y alerta de H₂S en las áreas donde exista un potencial significativo de liberación de H₂S. Además, asegurarse que estos sistemas se mantengan siempre en funcionamiento.
- 6) Establecer un sistema de permisos de trabajo obligatorio, si aún no existe, que aborde el riesgo de exposición al H₂S y cree conciencia sobre los riesgos y las ubicaciones potenciales de exposición al H₂S.

❖ Cómo – Ingenieros y Diseñadores:

- 1) Participar en estudios de análisis de peligros de procesos (PHA), especialmente aquellos con conocimiento del proceso en relación con el H₂S. Estos ingenieros comprenderán las situaciones normales y anormales que pueden generar H₂S. Los estudios PHA deben archivar y comunicarse de manera que mejoren el conocimiento de la seguridad del proceso sobre dónde existe o puede producirse el peligro del H₂S [11, pp. 169-244].
- 2) Los Ingenieros de Integridad de activos deben estar al tanto de dónde existe y puede producirse el H₂S, y evaluar el impacto potencial del H₂S en la integridad mecánica del equipo de contención. Consultar la lectura complementaria "CCPS, Guidelines for Mechanical Integrity Systems, Hoboken, N.J.: John Wiley and Sons, 2006" [34].

Por ejemplo, el efecto combinado del H₂S y la tensión de tracción puede provocar Agrietamiento por Corrosión bajo Tensión de Sulfuros (SSC) en materiales metálicos. Los Ingenieros de Integridad de Activos pueden prever los peligros conocidos de SSC. Esto es especialmente cierto cuando la soldadura (por ejemplo, accesorios) debe realizarse con un procedimiento de soldadura aprobado (por ejemplo, evitar exceso de manganeso y cromo en el material de soldadura, material de soldadura insuficiente tamaño de pierna inadecuado). Es necesaria una preparación adecuada (por ejemplo, procedimiento de secado, especialmente en acero al carbono) [35] [36].
- 3) Utilizar un enfoque basado en el riesgo al depender de válvulas de retención para prevenir el retroceso de H₂S gaseoso o líquido cuando existe la posibilidad de una liberación de H₂S a la atmósfera. Se debe instalar un aislamiento positivo activo (no pasivo) a menos que pueda justificarse mediante el enfoque basado en el riesgo [37].
- 4) Evitar diseños abiertos a la atmósfera cuando el proceso involucre H₂S. Cuando exista o pueda producirse H₂S, los ingenieros deben evaluar diseños de sistemas cerrados (contenidos) para evitar actividades como abrir equipos para realizar mediciones de pH o nivel [23] [38].

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #2: Conozca siempre dónde existe o puede producirse el peligro de H₂S

- 5) Conocer la química y la física del proceso (específicamente la Ley de Henry) para determinar cuándo y cómo el H₂S puede liberarse de una solución. El gas H₂S puede liberarse directamente de la fuente original o del lugar donde se genera, o en ubicaciones aguas abajo debido a su solubilidad en agua e hidrocarburos. Consultar la lectura complementaria, "Hazards of Molten Sulfur Storage & Handling, 2003 [39]" para obtener más información.
- 6) Las temperaturas más altas y un pH más bajo aumentan la cantidad de liberación. Las ubicaciones de ventilación de gas H₂S deben diseñarse bajo todas las condiciones operativas creíbles. Por ejemplo, un tanque de aguas residuales que contenga H₂S disuelto puede liberar gas H₂S con el aumento de la temperatura. Si no es posible una solución de ingeniería, utilizar la filosofía de jerarquía de control (Ver Figura 5).
- 7) Determinar los criterios y la ubicación para la detección fija de gas H₂S y los sistemas de alarma asociados. Las consideraciones pueden incluir los potenciales lugares de liberación, las características del H₂S (por ejemplo, más pesado que el aire) y el potencial de migración del H₂S en caso de una liberación (por ejemplo, la velocidad y dirección del viento dominante y la distancia a los receptores sensibles a favor del viento, como las personas).

❖ Cómo – Brigadistas:

- 1) Considerar factores como la dirección del viento, la ventilación del edificio y el terreno al responder a una liberación de H₂S.
- 2) Utilizar equipos de monitoreo para saber dónde existe o puede producirse la presencia de H₂S durante emergencias. Ver también la Regla de Oro #4.



Figura 5. Jerarquía de Controles

Fuente: Shutterstock.com

❖ Lectura Complementaria:

- ✦ Toxicological Profile for Hydrogen Sulfide 2016 [9]
- ✦ CCPS, Guidelines for Risk Based Process Safety [11, pp. 169-244]
- ✦ CSB Georgia-Pacific Corp. Hydrogen Sulfide Poisoning [25]
- ✦ Guidelines for Writing Effective Operations and Maintenance Procedures [30]
- ✦ Human Factors for Process Plant Operations: A Handbook [31]
- ✦ Guidelines for Mechanical Integrity Systems [34]

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #3: Establezca siempre controles de prevención contra una liberación de H₂S

Regla de Oro #3: Establezca siempre controles de prevención contra una liberación de H₂S

❖ ¿Por qué?:

- 1) Para proteger a los trabajadores y a otras personas de exposiciones a gases tóxicos que pueden provocar lesiones y una posible muerte [40] [41] [42]
- 2) Para prevenir daños al medio ambiente [43]
- 3) Historial de incidentes:
 - a) El 7 de julio de 1993, en Grasse, Francia, se produjo una liberación de H₂S durante la transferencia de aguas residuales de un tanque a un camión cisterna, lo que provocó la muerte del conductor del camión. El H₂S producido en el proceso de producción debía neutralizarse según el procedimiento antes de transferir las aguas residuales al camión cisterna. Sin embargo, el procedimiento de neutralización no se siguió tal como estaba escrito porque uno de los reactivos clave había sido cambiado. Además, no había instrumentación para monitorear la concentración de H₂S en las aguas residuales y el técnico tuvo que confiar en su sentido del olfato para supervisar la reacción de neutralización. Debido a pruebas ineficaces de los pasos de neutralización, una concentración significativa de H₂S quedó en las aguas residuales. A medida que el residuo líquido se transfería mediante una bomba de vacío, se liberó H₂S en altas concentraciones a través del escape de la bomba. El escape de la bomba no estaba diseñado para manejar material tóxico, y estaba a una altura tal que el conductor que pasaba inhaló los vapores y resultó fatalmente herido. [44]

Las lecciones relevantes para esta Regla de Oro son:

- (1) Las condiciones del tratamiento de H₂S no se siguieron rigurosamente, cambiando uno de los reactivos clave sin un análisis de la cantidad requerida. Se encontró que el procedimiento de tratamiento estaba incompleto y no fue supervisado en ninguna etapa.
- (2) El procedimiento contenía detalles innecesarios y no incluía la información necesaria.
- (3) El flujo de residuos ricos en H₂S no se analizó antes de la transferencia.
- (4) No se siguieron las pautas y procedimientos (por ejemplo, no se firmó el informe de inicio de operaciones, no se tomaron lecturas en el tanque de desechos después de la neutralización).
- (5) Se sabía que el H₂S era un peligro en el sitio, pero no había instrumentación para medir las concentraciones en corrientes líquidas y emisiones.

❖ Cómo – Todos los usuarios

- 1) Piense y practique siempre las formas en que puede eliminar/sustituir/evitar el H₂S [45]. Según la Figura 5, la jerarquía de controles debe comenzar con la eliminación.
- 2) Sea consciente de los peligros del H₂S y siga rigurosamente los procedimientos y otros controles administrativos para protegerse de la exposición al H₂S. Por ejemplo, asegurarse que los monitores personales de H₂S funcionen y reciban mantenimiento, incluida la calibración periódica.

❖ Cómo – Operaciones & Mantenimiento:

- 1) Escribir/seguir los procedimientos adecuados de operación y mantenimiento que incluyan
 - a) Resaltar los procedimientos donde exista el peligro de H₂S
 - b) Resaltar los pasos críticos donde se necesita monitoreo/control preventivo de H₂S
 - c) Verificación/aseguramiento de que estos procedimientos sean claros y estén actualizados [30]
- 2) Escribir/seguir los procedimientos de descontaminación de equipos de H₂S, que pueden incluir el uso de vapor o un oxidante como el permanganato de potasio (KMnO₄) [46].

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #3: Establezca siempre controles de prevención contra una liberación de H₂S

- 3) Escribir/seguir procedimientos de desconexión/apertura de línea (*Line—breaking*) Esto debe incluir, como mínimo, la primera apertura realizada y los requisitos de protección del personal (incluida la protección respiratoria hasta e incluyendo un aparato de respiración autónomo de demanda de presión (SCBA) para concentraciones desconocidas de H₂S).
- 4) Participar en revisiones de Preparación Operacional, incluidas Revisiones de Seguridad Pre-Arranque cuando los equipos de servicio de H₂S vuelvan a funcionar y cuando los equipos de servicio de H₂S han sido sometidos a un cambio [40]. Algunos ejemplos incluyen:
 - a) Recorrer la línea para garantizar que las válvulas manuales estén en la posición operativa adecuada y que no haya líneas abiertas.
 - b) Asegurarse que toda la instrumentación del proceso esté en buen estado de funcionamiento, incluidos los detectores fijos de H₂S.
- 5) Seguir un Programa de Permisos de Trabajo que aborde actividades comúnmente asociadas con equipos de H₂S, incluyendo, pero no limitado a:
 - a) Trabajo General
 - b) Trabajo en Caliente [47]
 - c) Espacios Confinados [48]
 - d) Bloqueo y Etiquetado [49]
- 6) Realizar una evaluación de riesgos/peligros laborales a nivel de campo dentro del programa de permisos de trabajo que promueva una revisión de peligros como el H₂S.
- 7) Priorizar las órdenes de trabajo de mantenimiento donde la funcionalidad de las funciones críticas de seguridad se vea afectada.

❖ Cómo – Gerentes:

- 1) Establecer una política para que todas las liberaciones y cuasi accidentes de H₂S se sometan a una investigación de incidentes de proceso, y exigir que los hallazgos clave se compartan en toda la organización [50]. Comprender las liberaciones de H₂S y los hallazgos de las investigaciones de cuasi accidentes pueden permitir a las organizaciones desarrollar futuras medidas de prevención. Consulte también la Regla de Oro #5.
- 2) Establecer un programa de Gestión del Cambio que incluya equipos de servicio de H₂S [40]. El programa debe incluir una revisión de los controles de prevención de H₂S para garantizar que los cambios sean aceptables.
- 3) Asegurarse que los peligros del H₂S se reflejen en los sistemas de gestión, promoviendo así una sensación de vulnerabilidad ante posibles eventos de liberación de H₂S de alta severidad. Esto puede incluir los estándares de ingeniería, el programa de respuesta a emergencias y la orientación de inducción. Consulte la Regla de Oro #1.
- 4) Crear indicadores de desempeño para asegurarse que las órdenes de trabajo de mantenimiento, donde la operatividad de las funciones críticas de seguridad se vea afectada, se aborden de manera oportuna.
- 5) La identificación de los factores de causa raíz de las fallas que requieren órdenes de trabajo es primordial para prevenir fallas recurrentes en los equipos críticos de seguridad [51].

❖ Cómo – Ingeniería y Proyectos:

Reglas de Oro del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #3: Establezca siempre controles de prevención contra una liberación de H₂S

- 1) Establecer una base de diseño que incluya información relacionada con H₂S de manera que sea evidente que los cambios en la composición de H₂S sean adecuadamente señalados para el análisis de Gestión de Cambios. Por ejemplo, cambios en la materia prima.
- 2) Escribir y seguir estándares internos de ingeniería que aborden los peligros de H₂S, incluyendo:
 - a) Diseñar unidades de H₂S con un enfoque de diseño inherentemente seguro (ISD) según la Figura 5. Por ejemplo, los ingenieros pueden:
 - (1) Eliminar los peligros de H₂S aguas abajo del sistema mezclando H₂S con soda cáustica (NaOH), lo cual cambiaría los peligros al manejo de una solución (líquida) de NaSH (o Na₂S). Esto puede ser más fácil de transportar de manera segura que el H₂S (gas).
 - (2) Proveer un diseño a prueba de fallos, como válvulas de despresurización que 'fallen abiertas' hacia los sistemas de venteo (Tea o Antorcha).
 - (3) Simplificar los diseños de tuberías para prevenir la contaminación cruzada.
 - (4) Diseñar el tratamiento de gas natural agrio con un agente químico (secuestrante de H₂S) para eliminar/reducir el H₂S en los equipos aguas abajo, tales como las redes de tuberías.
 - b) Realizar la ubicación de instalaciones para peligros de H₂S determinando contornos de consecuencia (o riesgos) para determinar la distancia de separación y el diseño del layout. Calcular áreas de impacto de H₂S y usar estos datos para decisiones de riesgo que aborden refugios seguros, ubicación de instalaciones y planificación de respuesta a emergencias, incluyendo impactos fuera del sitio [52] [53] [54]. Los peligros de H₂S incluyen sus propiedades tóxicas e inflamables.
 - c) Seguir prácticas de ingeniería reconocidas y generalmente aceptadas (RAGAGEP) en la especificación de tareas y frecuencias de inspección, prueba y mantenimiento preventivo, especialmente para el servicio de agua ácida. Esta puede ser un área que requiera un estrecho monitoreo de Mantenimiento Preventivo (PM) debido a su potencial de aumento de corrosión. [55] [56].
 - d) Proveer ventilación diseñada específicamente para edificios ocupados en zonas de peligro de H₂S. [57]
- 3) Seguir los estándares de servicio letal en el diseño de equipos para servicio de H₂S. [58]
- 4) Especificar los materiales de construcción adecuados en servicios que contengan H₂S para reducir o eliminar la corrosión. Por ejemplo, se debe evitar el uso de latón y cobre en servicios con H₂S. [59]
- 5) Minimizar las fuentes de fugas (por ejemplo, no permitir conexiones pequeñas o roscadas en servicios que contengan H₂S).
- 6) Realizar Análisis de Peligros de Proceso de manera rutinaria, con énfasis en la prevención de fugas y la evaluación de la adecuación de las salvaguardas. [60]
- 7) Diseñar medios para aislar y ventilar equipos que contengan H₂S para que se puedan ingresar y/o retirar de servicio. Tenga cuidado de restablecer un ambiente sin H₂S después de cualquier período prolongado de tiempo, ya que las condiciones pueden haber cambiado (por ejemplo, debido a válvulas con fugas lentas que se pensaba que estaban completamente cerradas).
- 8) Ser consciente de sus responsabilidades (incluyendo la selección de materiales y equipos, diseño de procesos, reacciones químicas y reacciones secundarias, etc.) que podrían conducir a un incidente o cuasi accidente con H₂S.

❖ Lectura Complementaria:

- CCPS, Guidelines for Process Safety Documentation [61]
- CCPS, Guidelines for Engineering Design for Process Safety 2nd Ed [62]
- WHO, H₂S Human Health Aspects [63]

Reglas de Oro del Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #4: Desarrolle siempre medidas de mitigación en el caso de una fuga de H₂S

Regla de Oro #4: Siempre desarrolle medidas de mitigación en caso de una liberación de H₂S

❖ ¿Por qué?:

- 1) La advertencia temprana de una liberación de H₂S aumenta la probabilidad de que las personas puedan tomar acciones mitigadoras efectivas.
- 2) Las disposiciones para limitar una liberación de H₂S aumentan la probabilidad de minimizar lesiones y fatalidades.
- 3) Practique los planes de respuesta a emergencias y el uso adecuado de EPP (Equipo de Protección Personal) para facilitar la evacuación, aumentan la probabilidad de minimizar lesiones y fatalidades.
- 4) La provisión de ubicaciones seguras aumenta la probabilidad de que las personas estén protegidas de la liberación.
- 5) Historial de incidentes:

5) Un trabajador petrolero, que operaba una válvula, colapsó al estar expuesto a H₂S. El capataz intentó rescatarlo y también fue afectado, al igual que un tercer trabajador de rescate. Ninguno de los rescatistas llevaba monitores de gas H₂S ni usaba protección respiratoria. Los miembros restantes del equipo, que llevaban aparatos de respiración autónomos, finalmente sacaron a los trabajadores heridos del área. El tercer trabajador fue reanimado, pero el primer trabajador y el capataz sufrieron lesiones fatales. [64].

La lección relevante para esta Regla de Oro es:

- (1) Responder sin el apropiado equipo de protección personal (EPP) y capacitación adecuados puede resultar en que los rescatistas se conviertan en víctimas. Ver Figura 3.

6) Dos trabajadores estaban investigando una fuga de H₂S de origen o magnitud desconocida en un edificio. Los trabajadores ingresaron al edificio sin protección respiratoria para realizar pruebas de calidad del aire. Una alarma personal de H₂S de un trabajador se activó en la entrada del edificio, y ambos trabajadores abandonaron el área. Uno de los trabajadores regresó con un monitor en un mango de escoba y midió 250 ppm de H₂S (más del doble de la concentración Inmediatamente Peligrosa para la Vida y la Salud (IDLH) en el área problemática). Ambos trabajadores buscaron atención médica. [64].

Las lecciones relevantes para esta Regla de Oro es que:

- (1) Si el edificio hubiera tenido instalado un sistema adecuado de detección de gases, el personal habría recibido una advertencia temprana y no habría estado en riesgo al investigar un área con altos niveles de H₂S presentes.
- (2) Tampoco habría sido necesario regresar al área con un arreglo improvisado de prueba que incrementó el riesgo para el personal.
- (3) Las fugas de H₂S solo deben ser investigadas cuando los trabajadores estén usando equipos de respiración autónomos (SCBA) o un suministro de aire equivalente. Esto reduce el riesgo para el personal, especialmente si la magnitud de la fuga ha cambiado o empeorado desde que se informó por primera vez.

❏ Por favor, lea el "Por qué" del incidente en la Regla de Oro #2.

Reglas de Oro del Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #4: Desarrolle siempre medidas de mitigación en el caso de una fuga de H₂S

Siete de los contratistas heridos fueron trasladados en vehículos privados al centro médico regional, y los Servicios Médicos de Emergencia (EMS) transportaron a otras tres víctimas (incluidos los dos que sufrieron lesiones fatales) a diferentes hospitales. La ropa de una víctima fue completamente retirada y puesta en una bolsa; la ropa de las otras dos víctimas no fue retirada. Los paramédicos del Servicio Médico de Emergencia que transportaba a las víctimas reportaron síntomas de exposición a H₂S; sin embargo, los dos paramédicos que retiraron la ropa del paciente reportaron síntomas más leves. Todos los paramédicos fueron evaluados medicamente y luego dados de alta.

Las lecciones relevantes para esta Regla de Oro son:

- (1) Las víctimas fueron retiradas de la escena del incidente y llevadas a la estación de primeros auxilios de la planta antes de que se estableciera el sistema de comando del incidente, sin haber sido descontaminadas en el lugar. Las directrices de la planta no requerían descontaminación en la escena ni en la estación de primeros auxilios.
- (2) La ropa de una de las tres víctimas transportadas a los hospitales fue retirada, lo cual no ocurrió con las otras dos víctimas. Los paramédicos estuvieron expuestos al H₂S debido a la contaminación en la ropa.
- (3) Las directrices de gestión médica de la autoridad local no reconocieron que la ropa de las víctimas expuestas al gas H₂S puede liberar H₂S, lo cual podría representar un riesgo médico para los respondientes [25].

❖ Cómo – Todos los usuarios:

- 1) Siempre esté al tanto de las ubicaciones en el sitio donde está presente el H₂S o donde podría generarse, así como de los medios para detectar y alertar sobre una liberación de H₂S.
- 2) Asista a capacitaciones sobre los peligros (incluyendo inflamabilidad y toxicidad) del H₂S.
- 3) Lleve un respirador de escape cuando así lo estipulen los procedimientos del sitio.
- 4) Participe activamente en todos los simulacros de respuesta a emergencias para saber cómo escapar cuando suene una alarma de H₂S; (por ejemplo, escape en dirección perpendicular al viento y utilice el respirador de escape (cuando se proporcione)). [10]
- 5) Siga las instrucciones del personal de respuesta a emergencias.
- 6) No intente rescatar a personal afectado por H₂S a menos que esté capacitado para hacerlo y use el equipo de protección personal adecuado, incluido un Aparato de Respiración Autónoma (SCBA).

❖ Cómo – Operación y Mantenimiento:

- 1) Mantenga los sistemas de detección de gases fijos y portátiles siguiendo las especificaciones del fabricante, como la calibración periódica (que generalmente es una tarea mensual o bimensual según lo especificado por los fabricantes).
- 2) Probar regularmente los sistemas de detección de gases y alarmas sonoras.
- 3) Inspeccione, mantenga y pruebe el funcionamiento de los cierres de seguridad activados por detectores de H₂S.
- 4) Inspeccionar y mantener todos los respiradores de escape y equipos de respiración autónomos presentes en el sitio.
- 5) Mantenga las ubicaciones seguras contra H₂S en todo el sitio para que sean efectivas contra ingreso de gas H₂S.

Reglas de Oro del Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #4: Desarrolle siempre medidas de mitigación en el caso de una fuga de H₂S

- 1) Discuta los peligros de H₂S aplicables a los permisos de trabajo antes de realizar trabajos de campo, incluyendo la mitigación de peligros de H₂S en cualquier desconexión de equipos. Esto preparará al personal para mitigar los peligros de H₂S en caso de una liberación de H₂S.
- 2) En caso de una liberación de H₂S, esté preparado y entrenado en medidas de mitigación incluyendo paradas de emergencia del proceso.
- 3) Esté preparado con medidas de mitigación, incluyendo la evacuación, al ingresar a áreas de proceso y otros lugares donde pueda estar presente el H₂S.
- 4) Sea capaz de comunicar apropiadamente información a cualquier equipo de respuesta a emergencia acerca de potencial de exposición.

❖ Cómo – Gerentes:

- 1) Establecer ubicaciones seguras para H₂S dentro o fuera del sitio, dependiendo de la situación de emergencia.
- 2) Confirmar que la capacitación sobre los peligros del H₂S (incluyendo inflamabilidad y toxicidad) se esté llevando a cabo en todos los niveles de la organización. Establezca niveles de capacitación apropiados para todo el personal que podría estar en el sitio (por ejemplo, visitantes, contratistas, personal no operativo, personal administrativo).
- 3) Asegúrese de que el sitio realice una evaluación de riesgos para definir el equipo de escape y respiración adecuado para todo el personal que podría estar expuesto a H₂S.
- 4) Confirme que el equipo de protección no cree un peligro para la salud y seguridad de los trabajadores. Por ejemplo, no utilice una botella/paquete de escape para una operación de rescate.
- 5) Asegúrese de que los planes de respuesta a emergencias a nivel del sitio estén disponibles y que se realicen, documenten y evalúen periódicamente ejercicios y simulacros.
- 6) Proporcione a los equipos de respuesta a emergencias el equipo adecuado para responder a un incidente de H₂S.
- 7) Asegúrese de que la política de H₂S del sitio incluya medidas de mitigación y prevención.
- 8) Asegúrese coordinar, según sea apropiado, con las autoridades comunitarias, incluyendo las agencias de respuesta a emergencias.

❖ Cómo – Ingeniería y Proyectos:

- 1) Diseñe e instale una cobertura adecuada de detectores con detección fija de gas H₂S, siguiendo las directrices de la empresa, regulaciones y/o normas de la industria sobre los puntos de ajuste de las alarmas. [65].
- 2) Diseñe e instale un nivel apropiado de alarmas (visibles y auditivas) siguiendo los estándares de la empresa, los requisitos regulatorios y las mejores prácticas. Siempre automatice las alarmas para evitar cualquier posible retraso, ya que las liberaciones de H₂S pueden dispersarse rápidamente. [66].
- 3) Diseñe cualquier recinto con un método para alertar a las personas externas al recinto sobre una liberación interna de H₂S (por ejemplo, detección de gas vinculada a una alarma audible y visual externa).
- 4) Diseñe controles para reducir el peligro de H₂S en los lugares de trabajo interiores y exteriores. Por ejemplo, aumente la ventilación o implemente el cierre automático del sistema HVAC para proteger a los ocupantes del edificio.

Reglas de Oro del Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #4: Desarrolle siempre medidas de mitigación en el caso de una fuga de H₂S

- 5) Diseñe ubicaciones seguras contra H₂S en el sitio basándose en los posibles escenarios de liberación, la dirección del viento predominante y las concentraciones, para ser efectivas contra la entrada de gas H₂S. Idealmente, se debe proporcionar más de una ubicación segura en caso de que el viento no esté en la dirección predominante.
- 6) Diseñe válvulas de aislamiento de emergencia operadas de forma remota para equipos que contengan H₂S. Esto puede incluir una cantidad umbral definida o ubicaciones de fugas altas.

❖ Cómo – Brigadistas:

- 1) Especificar el equipo de respiración adecuado según la concentración de H₂S presente en el sitio. Utilizar equipos respiratorios autónomos de presión positiva con máscara completa para la respuesta a emergencias. Nunca usar equipos de escape o respiradores de circuito semicerrado para la respuesta a emergencias [64] [66] [67].
- 2) Desarrollar planes de gestión de emergencias para liberaciones creíbles de H₂S desde todas las ubicaciones identificadas en el sitio.
- 3) Realizar ejercicios de respuesta a emergencias para estos escenarios, incluyendo ejercicios prácticos con SCBA (Aparatos Respiratorios Autónomos).
- 4) Completar la capacitación en respuesta a emergencias (ER) y primeros auxilios específica para los peligros asociados con el H₂S.
- 5) Al entrar en un recinto, usar equipos de monitoreo de aire para caracterizar la atmósfera interna y evitar entrar en una atmósfera tóxica [66].
- 6) Al responder a una liberación de H₂S, seguir el Plan de Respuesta a Emergencias (PRE) establecido, incluyendo el monitoreo constante de la dirección del viento.
- 7) Ser cauteloso con el potencial de una zona amplia que podría verse significativamente afectada cuando se libera H₂S. Esta zona podría extenderse fuera del sitio, por lo que debe incluirse en el PRE del sitio y de la autoridad local.
- 8) No intente rescatar a ninguna persona en una zona donde se haya producido una liberación de H₂S a menos que haya sido capacitado en el uso de SCBA. Se puede adoptar el sistema de "compañeros" [4] [64].
- 9) Mover al personal afectado por H₂S a un lugar seguro (por ejemplo, donde hay aire fresco). Si una víctima tiene dificultad para respirar o no respira, comenzar la ventilación asistida utilizando una máscara protectora con válvula unidireccional (como una máscara de bolsillo), y añadir oxígeno a la máscara si está disponible. Si el trabajador no tiene pulso, comenzar la reanimación cardiopulmonar (RCP). Dado que el cuerpo se deshace del H₂S si se elimina la exposición, es fundamental continuar la ventilación asistida con oxígeno hasta que llegue la ayuda médica [64].
- 10) Tome medidas para protegerse contra la exposición al H₂S que pueda haber contaminado la piel o la ropa de las víctimas. Esto puede incluir quitar la ropa de la víctima en un espacio ventilado para ayudar a proteger a la víctima y a los socorristas.
- 11) Elabore un plan coordinado para acceder a los recursos de la comunidad que cuente con equipos especializados para el tratamiento de la exposición al H₂S, como equipos de oxígeno hiperbárico [68].
- 12) Evalúe la respuesta de emergencia al incidente (tanto en simulacros como en eventos reales) para identificar oportunidades de mejora.

❖ Lectura Complementaria:

- ✦ Rethink your refuge [69]

Reglas de Oro del Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #4: Desarrolle siempre medidas de mitigación en el caso de una fuga de H₂S

- ✦ Shelter-in-place. Reducing Risk from Toxic Impacts [70]
- ✦ 29 CFR. 1910.119 Occupational Safety and Health Administration [71]
- ✦ CCPS Guidelines for Technical Planning for On-Site Emergencies [72]
- ✦ CCPS Guidelines for Post Release Mitigation Technology in the Chemical Process Industry [73]

Reglas de Oro del Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #5: Siempre investigue los incidentes de H₂S para mejorar los sistemas de gestión.

Regla de Oro #5: Siempre investigue los incidentes de H₂S para mejorar los sistemas de gestión.

❖ ¿Por qué?:

- 1) Las causas raíz de muchos incidentes se han vinculado a deficiencias en el sistema de gestión.
- 2) Las investigaciones de incidentes y cuasi accidentes de H₂S proporcionan aprendizajes valiosos que, aplicados adecuadamente, pueden reducir la posibilidad de recurrencia de incidentes similares en el futuro.
- 3) Las lecciones aprendidas de las investigaciones de incidentes ofrecen la oportunidad de fortalecer los sistemas de gestión y la cultura de la empresa, incluyendo otros elementos de seguridad de procesos.
- 4) Las lecciones aprendidas de las investigaciones de incidentes de otras empresas o de la industria pueden proporcionar conocimientos valiosos para mejorar los sistemas de gestión de la empresa [74].
- 5) Historia del incidente:

- a) El 11 de diciembre de 2002, un incidente resultó en el colapso de un empleado debido a la exposición a H₂S mientras entraba a una sala de tratamiento de aguas residuales (ver Figura 2). El empleado entró en la sala para recuperar una herramienta. Notó un olor a "huevos podridos" y sintió presión en los pulmones que le dificultaba respirar. Intentó evacuar, pero se desmayó en la sala. Sus colegas lo sacaron a un lugar seguro.

La instalación había experimentado un incidente previo de H₂S, que resultó en una investigación externa por parte de las autoridades municipales y una orden de mitigación por escrito. En respuesta, se instaló un detector de H₂S, pero no se desarrollaron los procedimientos requeridos ni se implementó la capacitación necesaria para garantizar que los empleados comprendieran los peligros del H₂S y los controles asociados con el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Las lecciones relevantes para esta Regla de Oro son que:

- (1) Los sistemas de gestión de H₂S débiles proporcionan una vía para la ocurrencia de incidentes. La empresa no tenía sistemas sólidos para gestionar los peligros del H₂S y mantener seguros a sus empleados mediante la identificación y gestión efectiva de peligros.
- (2) La empresa carecía de un sistema formal para investigar y comunicar incidentes. La falta de lecciones aprendidas de incidentes anteriores de la empresa dejó la oportunidad para la recurrencia de incidentes. Las lecciones no se aprendieron adecuadamente y los sistemas de gestión no se mejoraron lo suficiente después del incidente anterior.
- (3) No había procedimientos formales ni capacitación para operar el área de tratamiento de aguas residuales. Este incidente podría haberse evitado si el operador de la unidad hubiera estado al tanto de las posibles reacciones que puede generar el H₂S.
- (4) La normalización de la desviación llevó a la complacencia y a la aceptación de que los olores ofensivos eran parte usual de la operación de la instalación y los empleados estaban acostumbrados a olores como el de "huevos podridos". No todos estaban familiarizados con los peligros asociados con el H₂S.
- (5) Durante la investigación de la Junta de Seguridad Química (CSB), se encontró además que el incidente fue el resultado de que los residuos fueron tratados químicamente en un recipiente no diseñado para tal fin [75].

Reglas de Oro del Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #5: Siempre investigue los incidentes de H₂S para mejorar los sistemas de gestión.



Figura 2 El lugar donde los trabajadores se habían acostumbrado a los olores de H₂S

Fuente: Chemical Safety Board [75]

❖ **Cómo – Todos los usuarios:**

- 1) Participar en el programa de reporte e investigación de incidentes y cuasi accidentes relacionados con H₂S, y ayudar a implementar el programa de manera consistente en toda la organización.
- 2) Usar el conocimiento adquirido en la capacitación sobre H₂S y en la formación sobre incidentes y cuasi accidentes para identificar incidentes y cuasi accidentes de H₂S que requieran investigación. Ver la Regla de Oro #1.
- 3) Emplear técnicas adecuadas para investigar incidentes y cuasi accidentes [50]
- 4) Siempre que sea posible, asegúrese que las investigaciones vayan más allá de los factores físicos y/o humanos que permitieron la ocurrencia del incidente, para que se puedan identificar las causas a nivel del sistema de gestión. Esto permite comprender por qué estaban presentes los factores físicos y humanos, de modo que se puedan prevenir futuros incidentes de manera más amplia y efectiva.
- 5) Evaluar la efectividad de las capas de protección e identificar deficiencias que requieran mejoras basadas en los hallazgos de incidentes.
- 6) Participar en la documentación y difusión de los resultados de las investigaciones de incidentes y cuasi accidentes.
- 7) Dar seguimiento a los resultados de las investigaciones para resolver las recomendaciones. Esto incluye la implementación, capacitación y actualizaciones del sistema de gestión en relación con la recomendación.
 - a) Hacer un seguimiento de los incidentes y de las causas raíz asociadas para identificar incidentes recurrentes y cuasi accidentes que requieran una investigación adicional para identificar posibles factores causales recurrentes.

Reglas de Oro del Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #5: Siempre investigue los incidentes de H₂S para mejorar los sistemas de gestión.

- 1) Mejorar continuamente los sistemas de gestión para reducir el potencial de incidentes y cuasi accidentes.
- 2) Reconocer que no todos los incidentes representan el "peor escenario" posible. El hecho de que el evento solo haya resultado en consecuencias menores no significa que no sea posible un evento más significativo.
- 3) Asegúrese que la "memoria corporativa" de los incidentes se mantenga efectiva y que las lecciones aprendidas se compartan regularmente con empleados nuevos y existentes.
- 4) Utilice un enfoque interindustrial (dentro de la misma industria y entre diferentes industrias) para recopilar lecciones aprendidas de los incidentes.

❖ Cómo – Operadores y Mantenimiento:

- 1) Comprender cómo identificar incidentes de H₂S y cuasi accidentes que requieran investigación. Ver la Regla de Oro #2.
- 2) Entender los roles en la implementación del programa de investigación.
- 3) Reportar incidentes de H₂S y cuasi accidentes para su investigación.
- 4) Participar en las investigaciones (como miembro del equipo o testigo) según se solicite.
- 5) Mantenerse al tanto de los aprendizajes sobre incidentes y cuasi accidentes de H₂S y cómo las operaciones y el mantenimiento pueden usar estos aprendizajes para mejorar continuamente los procesos de trabajo en relación con la seguridad del H₂S.
- 6) Ayudar a implementar las recomendaciones de las investigaciones.
- 7) Ser consciente de sus acciones que podrían llevar a un incidente o cuasi accidente, incluyendo acciones en respuesta a condiciones anormales.
- 8) Conocer e implementar, cuando sea posible, las acciones que podrían tomarse para prevenir la escalada de las consecuencias de un incidente.
- 9) Compartir su experiencia o conocimiento de incidentes cuando sea aplicable, para ayudar a otros a aprender y tomar conciencia de eventos reales que han ocurrido relacionados con H₂S; por ejemplo, al participar en análisis de peligros de procesos.

❖ Como – Gerentes:

- 1) Desarrollar e implementar un programa documentado de investigación de incidentes y cuasi accidentes.
- 2) Proporcionar capacitación sobre el programa de investigación.
- 3) Proporcionar refuerzos para fomentar el reporte de incidentes y cuasi accidentes.
- 4) Proporcionar los recursos necesarios para asegurar que se aplique un enfoque interindustrial en las lecciones aprendidas.
- 5) Establecer y reforzar las expectativas de cumplimiento con el programa de investigación.
- 6) Garantizar que las investigaciones de incidentes se inicien de manera oportuna y que la recopilación de datos (incluyendo evidencia física, observaciones de testigos y datos electrónicos) comience antes y/o durante las actividades de limpieza.
- 7) Proporcionar los recursos y la disponibilidad de investigadores líderes capacitados y experimentados, y convocar a expertos externos cuando sea necesario.
- 8) Asegurarse de que el equipo de investigación esté compuesto por personal que pueda realizar una investigación objetiva.

Reglas de Oro del Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #5: Siempre investigue los incidentes de H₂S para mejorar los sistemas de gestión.

- 1) Requerir que el equipo de investigación incluya personal que entienda las propiedades del H₂S (consulte la Regla de Oro #1), los procesos relacionados con el H₂S y el sistema de gestión del lugar (políticas, estándares y procedimientos).
- 2) Proporcionar suficientes recursos y prioridad para asegurar que el equipo de investigación pueda llevar a cabo una investigación de calidad.
- 3) Proporcionar recursos para permitir la resolución oportuna de las recomendaciones de la investigación.
- 4) Compartir los aprendizajes con otras instalaciones y la industria.
- 5) Monitorear las tendencias en la causalidad de los incidentes de H₂S para identificar y abordar cualquier problema sistémico.
- 6) Monitorear el desempeño y el cumplimiento del programa de investigación. Esto incluye supervisar la finalización oportuna de las investigaciones y la implementación oportuna de las recomendaciones.
- 7) Asegurarse de que el alcance de la investigación del incidente incluya la actividad de respuesta al incidente dentro de la línea del tiempo. Hay ocasiones en las que la investigación de la actividad de respuesta al incidente se separa de la línea del tiempo principal.

❖ Cómo – Ingenieros y Diseñadores:

- 1) Comprender cómo identificar incidentes y cuasi accidentes que requieren investigación. Consulte la Regla de Oro #2.
- 2) Entender los roles en la implementación del programa de investigación.
- 3) Participar en las investigaciones (como investigador líder, miembro del equipo o testigo) según se solicite.
- 4) Proporcionar acceso a los datos de proceso (registros de eventos digitales, registros de instrumentación, estado del sistema, etc.) para su uso en el desarrollo de la línea de tiempo del incidente.
- 5) Mantenerse al tanto de la historia de incidentes y cuasi accidentes.
- 6) Ayudar a implementar las recomendaciones de las investigaciones y, cuando sea apropiado, implementar soluciones que eliminen la(s) causa(s) raíz de incidentes previos.
- 7) Colaborar en la capacitación del personal sobre los aprendizajes de las investigaciones.
- 8) Reportar incidentes y cuasi accidentes para su investigación.
- 9) Revisar incidentes previos para evaluar cómo los ingenieros pueden mejorar el diseño de las instalaciones de H₂S.

❖ Cómo - Brigadistas:

- 1) Comprender los roles en la implementación del programa de investigación.
- 2) Participar en las investigaciones (como miembro del equipo o testigo) según se solicite.
- 3) Reportar al equipo de investigación cualquier cambio operativo que los respondedores de la emergencia hayan realizado durante la respuesta al incidente (por ejemplo, apertura o cierre de válvulas, reubicación de elementos).
- 4) Revisar incidentes previos para identificar cómo mejorar el Plan de Respuesta a Emergencias.

❖ Lectura Complementaria:

- CCPS, Guidelines for Risk Based Process Safety, Chapters 8 and 9 [11, pp. 169-244]
- CCPS, Guidelines for Investigating Process Safety Incidents 3rd Edition [50]

Reglas de Oro del Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

Regla de Oro #5: Siempre investigue los incidentes de H₂S para mejorar los sistemas de gestión.

- ✦ CCPS, A Practical Approach to Hazard Identification For Operations and Maintenance Workers [76]
- ✦ CCPS, Guidelines for Implementing Process Safety Management Systems [77]
- ✦ CCPS, Guidelines for Process Safety Metrics [78]
- ✦ CCPS, Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety [79]
- ✦ CCPS, Driving Continuous Process Safety Improvement from Investigated Incidents [80]

Referencias

- [1] OSHA, "OSHA Fact Sheet: Hydrogen Sulfide," OSHA (U.S. Occupational and Health Administration, U.S. Department of Labor), Washington, D.C. U.S., 2005.
- [2] American Petroleum Institute (API), RP 571 Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry, Washington, DC, USA: American Petroleum Institute, 2020.
- [3] American Petroleum Institute (API), API RP 55, 2nd edition, Recommended Practice for Oil and Gas Producing and Gas Processing Plant Operations Involving Hydrogen Sulfide, Washington, DC, U.S.A.: American Petroleum Institute (API), 2000.
- [4] CSB, "Hydrogen Sulfide Release at Aghorn Operating Waterflood Station, No. 2020-01-I-TX," US Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB), csb.gov, 2021.
- [5] International Federation of Red Cross And Red Crescent Societies, "China: Gas Well Explosion in Chongqing - Information Bulletin n° 1," OCHA, 2003.
- [6] Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP), "Small, Portable Oil & Gas Production Facilities: Recommended Solutions for Design and Operation (Safety Guide)," Canadian Association of Petroleum Producers, Calgary, Alberta Canada, 2014.
- [7] OSHA (U.S. Occupational and Health Administration), "Hydrogen Sulfide - Hazards," [Online]. Available: <https://www.osha.gov/hydrogen-sulfide/hazards>.
- [8] NIOSH, NIOSH pocket guide to chemical hazards, Cincinnati OH: National Institute for Occupational Safety and Health, Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, 2010.
- [9] U.S. Department of Health and Human Services, "Toxicological Profile for Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide," U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA, U.S.A., 2016.
- [10] Government of Alberta, "H₂S The Killer CH026," Worksafe Alberta, Alberta, Canada, 2012.
- [11] CCPS (Center for Chemical Process Safety), Guidelines for Risk Based Process Safety, Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, 2007.
- [12] American Petroleum Institute (API), API RP 49, 3rd Edition, Recommended Practice for Drilling and Well Servicing Operations Involving Hydrogen Sulfide, Washington, DC, U.S.A.: American Petroleum Institute, 2001.
- [13] United Nations Environment Programme, the International Labour Organisation, and the World Health Organization, Environmental Health Criteria 19 Hydrogen Sulfide, Geneva, Switzerland: World Health Organization, 1981.
- [14] American Petroleum Institute (API), API STD, 8th Edition, Requirements for Safe Entry and Cleaning of Petroleum Storage Tanks, Washington, DC, U.S.A.: American Petroleum Institute (API), 2015.
- [15] L. Brundrett, "Lethal Service – Quick Guide," 23 February 2017. [Online]. Available: <https://www.pveng.com/lethal-service-notes/>.
- [16] National Board Inspection Code, ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1, Subsection A, New York: ASME, 2021.
- [17] U.S. EPA, "Toxicological Review Of Hydrogen Sulfide," U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, U.S.A., 2003.
- [18] ECHA - European Chemicals Agency, "Substance Information - ECHA," 21 December 2021. [Online]. Available: <https://echa.europa.eu/substance-information>.
- [19] Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP), "H₂S Release Rate Assessment and Audit Forms," Canadian Association of Petroleum Producers, Calgary, Alberta, Canada, 2012.
- [20] Government of Alberta, "Hydrogen Sulphide at the Work Site CH 029," Worksafe Alberta, Alberta, Canada, 2010.
- [21] CCPS, "Fatality caused by unloading the wrong chemical into a storage tank!," *Process Safety Beacon*, March 2009.
- [22] CCPS, "CCPS Process Safety Incident Database No. 624: Chemical Cleaning Results in Hydrogen Sulfide Release, 2009," Center for Chemical Process Safety.

- [23] CCPS, "CCPS Process Safety Incident Database No. 810: Exposure to Hydrogen Sulfide while Charging the Reactor, 2000," Center for Chemical Process Safety.
- [24] CCPS, "CCPS Process safety Incident Database No. 567: Sour Steam Release in Oil Refinery, 2000," Center for Chemical Process Safety.
- [25] CSB, "Georgia Pacific Naheola Mill Hydrogen Sulfide Poisoning," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, csb.gov, 2002.
- [26] CCPS (Center for Chemical Process Safety), Guidelines for Management of Change for Process Safety, Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, 2008.
- [27] CCPS, "CCPS Process safety Incident Database No. 449: Operator Mistakenly Drained Hydrogen Sulfide to an Open Sewer, 2004," Center for Chemical Process Safety.
- [28] CCPS, "CCPS Process Safety Incident Database No. 498: H₂S Release when Liquids Dumped to Chemical Sewer, 1996," Center for Chemical Process Safety.
- [29] CCPS, "CCPS Process Safety Incident Database No. 509: H₂S Released during Relief Valve Replacement, 1997," Center for Chemical Process Safety.
- [30] CCPS, Guidelines for Writing Effective Operations and Maintenance Procedures, Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 1996.
- [31] CCPS, Human Factors for Process Plant Operations: A Handbook, Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 2022.
- [32] U.S. Homeland Security, "Chemical Facility Anti-Terrorism Standards: Risk-Based Performance Standards Guidance," U.S. Homeland Security, Washington DC USA., 2009.
- [33] AB OH&S, "Alberta Occupational Health & Safety Code Regulation 191/2021, Section 21,," Alberta Occupational Health & Safety, Alberta, 2021.
- [34] CCPS, Guidelines for Mechanical Integrity Systems, Hoboken, N.J.: John Wiley and Sons, 2006.
- [35] CCPS, "CCPS Process Safety Incident Database No. 496: Hydrogen Sulfide Release due to Weld Failure on Level Control, 1997," Center for Chemical Process Safety.
- [36] UK Health & Safety Executive, "The Offshore SECE Management and Verification Inspection Guide," HSE, Published under oper government license, 2020.
- [37] CCPS, "CCPS Process Safety Incident Database No. 697: Sour Water Release, 2003," Center for Chemical Process Safety.
- [38] F. Renshaw, "Open System Chemical Operations – Eliminate Them or Control Them," in *CCPS Pharma, Food & Fine Chemicals (PFFC) Subcommittee Quarterly Meeting*, 2022.
- [39] J. E. Johnson and N. A. Hatcher, "Fundamentals of Sulfur Recovery: Hazards of Molten Sulfur Storage & Handling," in *53rd Lawrence Reid Gas Conditioning Conference Proceedings*, 2003.
- [40] OSHA, "OSHA Publication 3133," 1994. [Online]. Available: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/osha3133.pdf>.
- [41] World Health Organization, "Hydrogen Sulfide: Human Health Aspects," 2003. [Online]. Available: <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad53.pdf>.
- [42] USA EPA, "H₂S FAQs," 2017. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-12/documents/appendix_e-atsdr_h2s_factsheet.pdf.
- [43] T. Ausma and L. J. DeKoK, "Atmospheric H₂S: Impact on Plant Functioning," *Front. Plant Sci.*, vol. 2019, no. 10, p. 743, 2019.
- [44] French Ministry of Environment, "H₂S Leakage during the transfer of effluents," French Ministry of Environment, 1993.
- [45] Canadian Centre for Occupational Health and Safety, "Substitution of Chemicals-Considerations for Selection," 27 October 2021. [Online]. Available: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/substitution.html>.
- [46] P. Vella and J. L. Nickerson, "Hazardous Material Decontamination With Potassium Permanganate for Refinery Turnarounds," in *CORROSION 98*, San Diego, 1998.
- [47] US Occupational Safety and Health Administration (OSHA), *29CFR1910.252 Hot Work Permit General Requirements*, Washington, DC: OSHA, 2012.

- [48] US Occupational Safety and Health Administration (OSHA), *29 CFR 1910.146 Permit Required confined spaces*, Washington, DC: OSHA, 2011.
- [49] US Occupational Safety and Health Administration (OSHA), *29CFR1910.147 The Control of Hazardous Energy*, Washington DC: OSHA, 2021.
- [50] CCPS, *Guidelines for Investigating Process Safety Incidents* 3rd Ed., Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2019.
- [51] CSB, "Investigation Report: Hydrogen Sulfide Poisoning," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, csb.gov, 2002.
- [52] API, *RP 752 Management of Hazards Associated with Location of Process Plant Permanent Buildings*, 2009.
- [53] API, *RP 753 Management of Hazards Associated with Location of Process Plant Portable Buildings*, American Petroleum Institute, 2007.
- [54] API, *RP 756 Management of Hazards Associated with Location of Process Plant Tents*, American Petroleum, 2014.
- [55] API, *RP 580 Risk-Based Inspection* 3rd Ed., API, 2016.
- [56] Det norske Veritas Industry, Inc., "Inspection Programs and Engineering Analysis of Pressure Vessels in Wet Hydrogen Sulfide Service," in *27th Annual Loss Prevention Symposium*, Houston, 1993.
- [57] OSHA, "OSHA Technical Manual (OTM)," OSHA, 2014. [Online]. Available: <https://www.osha.gov/otm/section-3-health-hazards/chapter-3>. [Accessed 4 February 2022].
- [58] ASME, *Section VIII Boiler and Pressure Vessel Code Division 1 Section UW-2*, ASME, 2021.
- [59] ANSI/NACE, *MR0175/ISO15156-1 Materials for use in H2S containing environments in oil and gas production*, Houston: Nace International, 2015.
- [60] CCPS, *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures* 3rd Ed., Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2011.
- [61] CCPS, *Guidelines for Process Safety Documentation*, Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 1995.
- [62] CCPS, *Guidelines for Engineering Design for Process Safety* 2nd Ed., Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2012.
- [63] WHO, "H2S Human Health Aspects," 2003. [Online]. Available: <https://www.who.int/>.
- [64] W. S. BC, "Hydrogen Sulfide in Industry," worksafebc.com, 2010.
- [65] CCPS, "CCPS Process Safety Incident Database No. 651: Hydrogen Sulfide Exposure, 2002," Center for Chemical Process Safety.
- [66] CSB, "Toxic Chemical Release at the DuPont La Porte Chemical Facility," US Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB), Washington, D.C., 2019.
- [67] "OSHA FactSheet Hydrogen Sulfide (H2S)," US Department of Labor, 10/2005.
- [68] Calgary First Aid, "Treatment and Management of H2S Poisoning," 2022. [Online]. Available: <https://firstaidcalgary.ca/>.
- [69] J. A. Rau, A. Wong and M. McDermott, "Rethink your refuge," *Chemical Processing: Process Safety eHANDBOOK: Take a Closer Look at Process Safety*, pp. 28-37, 2019.
- [70] Baker Risk, "Shelter-in-place. Reducing Risk from Toxic Impacts,," www.bakerrisk.com, San Antonio Texas, 2020.
- [71] US Occupational Safety and Health Administration (OSHA), *29 CFR1910.119 Process safety management of highly hazardous chemicals*, Washington, DC: OSHA.
- [72] CCPS, *Guidelines for Technical Planning for On-Site Emergencies*, Hoboken NJ, U.S.A: John Wiley & Sons, 1995.
- [73] CCPS, *Guidelines for Post Release Mitigation Technology in the Chemical Process Industry*, Hoboken, NJ, U.S.A.: John Wiley & Sons, 1996.
- [74] CCPS, *Recognizing and Responding to Normalization of Deviance*, Hoboken, N.J.: John Wiley and Sons, 2018.
- [75] CSB, "Hydrogen Sulfide Exposure," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, csb.gov, 2003.
- [76] CCPS, *A Practical Approach to Hazard Identification For Operations and Maintenance Workers* 1st Ed, Hoboken, NH, USA: John Wiley & Sons Inc., 2010.
- [77] CCPS, *Guidelines for Implementing Process Safety Management Systems*, 2nd Edition, Hoboken, N.J.: John Wiley and Sons, 2016.
- [78] CCPS, *Guidelines for Process Safety Metrics* 1st Ed., Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 2010.
- [79] CCPS, *Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety*, Hoboken, NJ, U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc., 2004.

[80] CCPS, Driving Continuous Process Safety Improvements from Investigated Incidents, Hoboken, NJ, U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc., 2021.

