

# Reglas de Oro en Seguridad de Procesos para:

---

## Polvos Combustible

---



## 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:

Chris Devlin, Chair	Celanese
Warren Greenfield	CCPS Staff Consultant
Denise Albrecht	3M
Walt Frank	CCPS Emeritus
Paul Gathright	Ascend Performance Materials
David Greganti	Dow
Mike Hazzan	AcuTech
Ng Ern Huay	Petronas
Louisa Nara	CCPS
Cathy Pincus	ExxonMobil
Jatin Shah	Baker Risk
Scott Wallace	Olin

### Miembros del Equipo del Subcomité de Polvo Combustible:

Walt Frank (Lead)	CCPS Emeritus
Chris Devlin	Celanese
Warren Greenfield	CCPS Staff Consultant

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 Polvo Combustible:

Thomas Scherpa	Dupont
Dave Kirby	Baker Risk
Sam Rodgers	Honeywell

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 PPR Consultora 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

Laura Turci	Co-Chair 3M
Gustavo Correa	Co - Chair YPF
Néstor H Spósito	CCPS Staff Consultant

#### Traducción:

- Luciano Spósito PPR Consultora

#### Revisión de Traducción

- Alberto Rodriguez 3 M
- Fernando Pawolocki YPF
- Federico Hosenen Cargill

#### Revisión de Pares

- Laura Turci: Co-Chair 3M
- Néstor H Spósito CCPS

*El Centro para la Seguridad del 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@aiiche.org](mailto:ccps@aiiche.org) o visite [www.aiiche.org/ccps](http://www.aiiche.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@aiiche.org](mailto:anilg@aiiche.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.aiiche.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.

### Regla de Oro # 1: Reconozca y comprenda siempre las propiedades peligrosas de sus polvos combustibles

#### ❖ ¿Por qué?:

- 1) Cualquier material sólido particulado puede representar un peligro significativo de combustibilidad.
  - a) Los polvos combustibles que involucran nubes de polvo en suspensión, pueden producir combustiones súbitas (del inglés flash fire) y explosiones. Todos estos eventos pueden dañar instalaciones, equipos y personal.
  - b) Las explosiones primarias pueden provocar grandes nubes de polvo en suspensión adicionales que pueden derivar en grandes explosiones secundarias (Figura 1).
  - c) La combustión lenta (del inglés Smoldering) dentro de material acumulado o dentro de recintos donde hay oxígeno insuficiente puede dar lugar a productos de combustión parcial (como el monóxido de carbono) que pueden encenderse y provocar un incendio o una explosión cuando se proporciona oxígeno posteriormente.
- 2) El personal de las instalaciones que manipula polvos combustibles debe conocer las propiedades peligrosas de los materiales de proceso para poder reconocer los peligros y comprender su función en la protección ante los mismos.
- 3) El conocimiento de las propiedades peligrosas, incluida la toxicidad de los materiales y sus productos de combustión, es un elemento necesario para la evaluación de los peligros y el diseño de protecciones.
- 4) Historial de Incidentes:
  - a) El 29 de enero de 2003, una explosión y un incendio destruyeron la planta de West Pharmaceutical Services en Kinston, Carolina del Norte, causando seis muertes, docenas de heridos y cientos de empleos perdidos. La instalación producía tapones de goma y otros productos para uso médico. El combustible de la explosión fue un polvo plástico fino, que se acumuló sobre un techo suspendido sobre un área de fabricación y se encendió. Aunque la planta tenía la advertencia de MSDS (Material Safety Data Sheets, por sus siglas en inglés) sobre las propiedades explosivas del polvo de polietileno, los empleados no habían recibido ninguna capacitación significativa sobre los peligros de los polvos combustibles. Si los trabajadores de mantenimiento hubieran estado al tanto del potencial catastrófico de este peligro, podrían haber alertado a la gerencia sobre la presencia de acumulaciones peligrosamente grandes sobre el techo suspendido [1].
  - b) En la noche del 29 de octubre de 2003, una serie de explosiones quemaron gravemente a dos trabajadores (posteriormente uno fallece), hirieron a un tercero y causaron daños a la propiedad de la fábrica de Hayes Lemmerz en Huntington, Indiana. La planta de Hayes Lemmerz fabricaba ruedas de aluminio fundido para automóviles y las explosiones fueron alimentadas por el polvo de aluminio acumulado, un subproducto combustible del proceso de producción de ruedas. Hayes no realizó revisiones para abordar los peligros del polvo de aluminio. Los peligros del polvo de aluminio no se identificaron ni se abordaron [2].

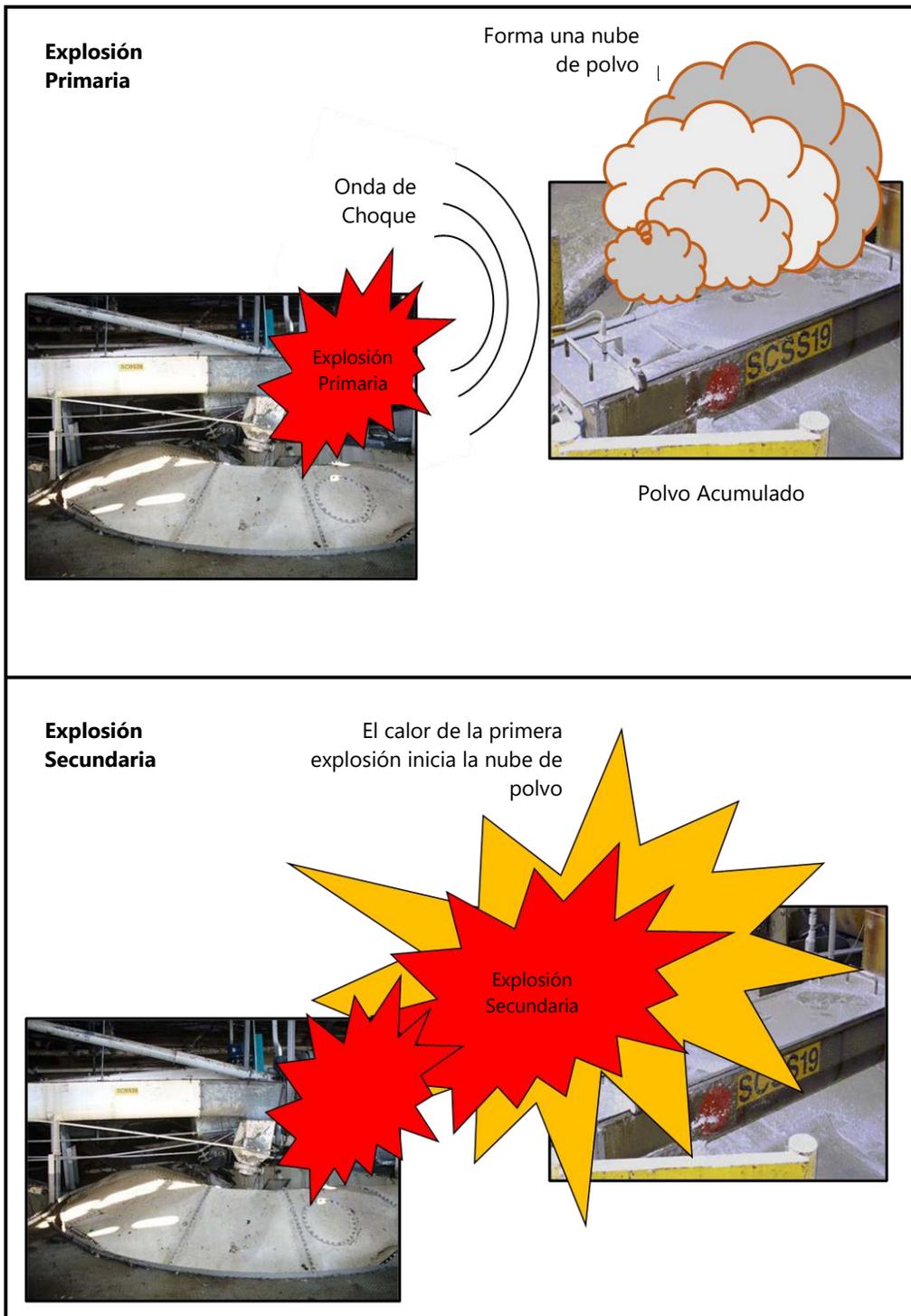


Figura 1. Esquema de una explosión secundaria después de una explosión primaria (Adaptado de [3] y [4])

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### ❖ Cómo – General:

- 1) Determine si el polvo es combustible en base a pruebas de acuerdo a estándares o datos históricos. [5] [6] [7] [8].
- 2) Si es combustible, realice pruebas detalladas para cuantificar las propiedades de explosividad, según sea necesario. Las pruebas sugeridas son específicas de la situación y podrían incluir [5] [6] [7] [8]:
  - a) Índice de deflagración de una nube de polvo ( $K_{st}$ )
  - b) Presión máxima desarrollada en una deflagración contenida de una mezcla óptima ( $P_{max}$ )
  - c) Energía mínima de Ignición (MIE, del inglés Minimal Ignition Energy)
  - d) Concentración Mínima Explosiva (MEC, del inglés Minimal Explosible Concentration)
  - e) Concentración Límite de Oxidación (LOC, del inglés Limiting Oxidant Concentration)
  - f) Conductividad Eléctrica
  - g) Temperatura de Ignición (Para nubes y capas de polvo)
  - h) Análisis del tamaño de la partícula
  - i) Otros, según corresponda
- 3) Evaluar las incompatibilidades químicas, como la reactividad con el agua y la interacción con otros productos químicos del proceso, incluidos los materiales inertes. [6] [9] [10] [11].
- 4) Considere otros peligros como la inestabilidad térmica y la toxicidad del material y sus productos de combustión. Consulte las Hojas de datos de seguridad (SDS) del fabricante y otras referencias, según sea necesario. [8].
- 5) Documente las propiedades peligrosas en su base de datos de Gestión del Conocimiento de Procesos.

### ❖ Cómo – Operadores, Mecánicos y Técnicos:

- 1) Busque y participe en capacitaciones sobre las propiedades peligrosas de los materiales que se utilizan.
- 2) Comprender la naturaleza de los peligros (incendios, explosiones y posibles eventos tóxicos), así como cualquier peligro asociado con los sistemas de protección (por ejemplo, venteos de deflagración (explosión), gases inertes y sistemas de supresión de deflagración). [5].
- 3) Conozca y cumpla con sus responsabilidades para controlar los peligros. [5] [6].
- 4) Comprender y cumplir con los requisitos de Equipos de Protección Personal (PPE) para los materiales que se manipulan. Consulte las Hojas de datos de seguridad (SDS) del fabricante y otras referencias, como las "Guías de manipulación segura" desarrolladas y proporcionadas por fabricantes o asociaciones comerciales, según sea necesario.

### ❖ Cómo – Gerentes:

- 1) Brinde apoyo para obtener los datos de prueba requeridos [5] [6] [7].
- 2) Brinde apoyo para el entrenamiento / capacitación de los operadores sobre las propiedades peligrosas de los materiales que se utilizan.
- 3) Definir y hacer cumplir las expectativas para la disciplina operativa en torno a los peligros.
- 4) Controle la operación para detectar nuevos o cambios en los peligros.

### ❖ Cómo – Ingenieros y Diseñadores:

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

- 1) Siempre solicite datos de prueba representativos del material de proceso para su uso en evaluaciones de riesgo o diseño. [5] [6] [7].

### ❖ **Cómo – Brigadistas:**

- 1) Reconocer los peligros de los materiales de proceso, los sistemas de protección y los productos de combustión. Consulte las "Guías de manipulación segura" desarrolladas y proporcionadas por fabricantes o asociaciones comerciales, según sea necesario. [5] [6] [12] [13] [14].
- 2) Tenga en cuenta los aspectos únicos de la lucha contra incendios de polvo combustible [12] [13] [14] [15].
- 3) Tenga en cuenta el equipo de protección personal requerido para combatir incendios de polvo combustible. Consulte las Hojas de datos de seguridad (SDS) del fabricante y otras referencias, según sea necesario.

### ❖ **Lectura Complementaria: [16] [17]**

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### Regla de Oro #2: Identifique siempre el equipo y las áreas de la instalación donde exista peligro de incendio y explosión por polvo.

#### ❖ Por qué:

- 1) El personal de las instalaciones necesita saber dónde existen los peligros para poder comprender su papel en la protección contra los peligros. [18] [19].
- 2) El conocimiento de dónde existen los peligros es necesario para la evaluación de los peligros y el diseño de protecciones.
- 3) Historial de Incidentes:
  - a) El 7 de febrero de 2008, se produjo una gran explosión e incendio en la refinería Imperial Sugar al noroeste de Savannah, Georgia, que causó 14 muertes e hirió a otros 36 miembros del personal, incluidos 14 con quemaduras graves y potencialmente mortales. La explosión fue alimentada por acumulaciones masivas de polvo de azúcar combustible en todo el edificio de empaque. Las áreas con acumulación excesiva de polvo constituyen áreas de riesgo de incendio y explosión. La gerencia de Imperial Sugar estaba consciente de los peligros asociados con el polvo de azúcar combustible, pero en ausencia de incidentes catastrófico importante durante muchos años de operación de la instalación, las condiciones peligrosas no se corrigieron. La gerencia no hizo cumplir las prácticas adecuadas de diseño y mantenimiento de equipos para controlar el polvo de azúcar y el azúcar derramado. Además, la gerencia no se aseguró de que las actividades de limpieza fueran adecuadas para evitar que el polvo de azúcar y el azúcar derramado se acumularan a niveles peligrosos en el lugar de trabajo. [4].
  - b) En la noche del 29 de octubre de 2003, una serie de explosiones quemaron gravemente a dos trabajadores (posteriormente una muerte), hirieron a un tercero y causaron daños a la propiedad de la planta de fabricación de Hayes Lemmerz en Huntington, Indiana. La planta de Hayes Lemmerz fabricaba rines de aluminio fundido para automóviles y las explosiones fueron alimentadas por el polvo de aluminio acumulado, un subproducto combustible derivado del proceso de producción de ruedas. Hayes no aseguró el diseño adecuado del sistema colector de polvo. el venteo de deflagración (explosión) no fue suficiente para proteger el colector de polvo del daño estructural causado por la sobrepresión generada en este incidente. No se había proporcionado un aislamiento de deflagración adecuado para evitar la propagación del fuego y la explosión desde el colector de polvo hacia el área de proceso. [2].

#### ❖ Cómo – General:

- 1) Llevar a cabo una Evaluación de Riesgo de Polvo (DHA) para identificar y documentar el equipo y las áreas de la instalación donde existen riesgos de incendio y explosión por polvo (por ejemplo, áreas donde existen acumulaciones excesivas de polvo y / o nubes de polvo en suspensión) [5] [6] [19].
  - a) El DHA se puede realizar mediante la realización de una evaluación de brechas en comparación con los estándares relevantes de la industria, como los estándares NFPA [6].
  - b) El DHA puede incorporar un enfoque de evaluación de riesgos cuando sea aceptable para las autoridades pertinentes (como la Autoridad con Jurisdicción según se define en las normas de la NFPA). [6] [19].
  - c) Durante cualquier DHA, realice una inspección visual de las áreas que almacenan o manipulan polvos combustibles, incluida la atención a las superficies elevadas, para obtener una perspectiva de las prácticas de limpieza y mantenimiento para prevenir las emisiones de polvo.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

- d) Tenga en cuenta la experiencia de pérdidas de la empresa y la industria al identificar escenarios para la evaluación. Sin embargo, no descarte escenarios creíbles solo porque no hay historial de incidentes.

### ❖ Cómo – Operadores, Mecánicos y Técnicos:

- 1) Participar en los DHAs.
- 2) Busque la opinión de sus pares para considerar consideraciones para discutir en DHAs.
- 3) Contribuya durante el DHA y comparta la experiencia operativa y las observaciones sobre los lugares en los que se han producido incidentes o alteraciones anteriormente. En particular, señale las situaciones en las que se han producido descargas de polvo en el pasado.
- 4) Reconocer que ciertos tipos de equipos, como secadoras, trituradoras y recolectores de polvo, pueden ser propensos a incendios o explosiones de polvo combustible. [5].
- 5) Entender que las áreas adyacentes a los venteos de deflagración (explosión) deben ser zonas de exclusión de personal debido a los peligros asociados con las descargas de los venteos, como incendios, sobrepresión y proyectiles.
- 6) 6) Comprender los peligros asociados con otros sistemas de protección contra explosiones, como:
  - a) Inertización (asfixia)
  - b) Sistemas de supresión de deflagraciones (descargas de alta presión)
  - c) Dispositivos de detención de partículas y retención de llamas (material tóxico / productos de combustión)
  - d) Válvulas de aislamiento de deflagración (energía almacenada y peligros de amputación)

### ❖ Cómo – Gerentes:

- 1) Definir y hacer cumplir las expectativas para los participantes del DHA.
- 2) Brindar soporte al desempeño y la revalidación periódica de DHA.
- 3) Brindar soporte a la resolución oportuna de las recomendaciones del DHA.

### ❖ Cómo – Ingenieros y Diseñadores:

- 1) Participar y proporcionar una perspectiva de ingeniería para DHA.
- 2) Siempre que sea posible, implemente opciones de diseño intrínsecamente más seguras para eliminar los peligros del polvo o reducir sus riesgos.
- 3) Entender dónde se han producido incidentes más frecuentes, como secadoras, trituradoras y recolectores de polvo. [19].

### ❖ Cómo – Brigadistas:

- 1) Documentar y capacitar sobre planes previos que abordan los peligros de incendio y explosión por polvo combustible que se identifican en las DHA.
- 2) Identificar y proporcionar medios y equipos de extinción de incendios adecuados específicos para los riesgos de incendio y explosión identificados.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### Regla de Oro # 3: Siempre proporcione y mantenga una protección adecuada contra incendios y explosiones.

#### ❖ Por qué:

- 1) Se requieren controles de ingeniería y administrativos para prevenir incendios y explosiones.
- 2) Se requiere un énfasis continuo para asegurar que los controles sigan siendo efectivos, tales como:
  - a) Programas de inspección, prueba y mantenimiento preventivo para controles de ingeniería
  - b) Procedimientos actualizados y capacitación de actualización para el personal que implementa los controles administrativos.
- 3) Historia de Incidente:
  - a) En la noche del 29 de octubre de 2003, una serie de explosiones quemaron gravemente a dos trabajadores (posteriormente uno muere), hirieron a un tercero y causaron daños a la propiedad de la planta de fabricación de Hayes Lemmerz en Huntington, Indiana. La planta de Hayes Lemmerz fabricaba ruedas de aluminio fundido para automóviles. Las explosiones fueron generadas por el polvo de aluminio acumulado, un subproducto combustible del proceso de producción de rines. Hayes no aseguró el diseño adecuado del sistema colector de polvo. La ventilación por deflagración (explosión) no fue suficiente para proteger el colector de polvo del daño estructural causado por la sobrepresión generada en este incidente. No se había proporcionado un aislamiento de deflagración adecuado para evitar la propagación del fuego y la explosión del colector de polvo de regreso al área de proceso. [2].

#### ❖ Cómo – General:

- 1) Reconozca que los sistemas de protección incluyen controles administrativos y de ingeniería. Algunos ejemplos incluyen lo siguiente [6] [20] [21] [22]:
  - a) Venteos de deflagración
  - b) Sistemas de supresión de deflagraciones
  - c) Sistemas de aislamiento de deflagración
  - d) Procedimientos de limpieza
  - e) Permisos de trabajo en caliente y restricciones para fumar
  - f) Puesta a tierra e interconexión de equipos [6] [22] [23]
  - g) Especificar áreas peligrosas (clasificadas) para la instalación de equipos eléctricos [24] [25] [26]
- 2) Cumplir con los estándares y guías reconocidas por la industria. [20] [21] [6] [22] [22] [23] [5] [27].
- 3) Implementar los sistemas de protección identificados en el DHA.
- 4) Implementar un programa de inspección, prueba y mantenimiento preventivo (ITPM) para controles de ingeniería.
- 5) Asegurarse de que los controles administrativos estén documentados en los estándares y procedimientos aprobados de la planta.
- 6) Brindar capacitación y actualización periódica sobre la implementación de controles administrativos.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### ❖ ¿Cómo? – Operadores, Mecánicos, y Técnicos:

- 1) Comprender los límites operativos seguros para el equipo de proceso y los procedimientos adecuados para responder a condiciones anormales.
- 2) Comprender la diferencia entre condiciones anormales del proceso (donde la intervención puede restaurar el funcionamiento normal) e incidentes que requieren una parada segura (como incendios internos o eventos de explosión).
- 3) Comprender el propósito y las funciones de los sistemas de protección requeridos.
- 4) Comprender los roles en la implementación y el mantenimiento de los sistemas de protección requeridos.
- 5) Siga todos los procedimientos operativos, de mantenimiento y de trabajo seguro relacionados con los sistemas de protección. [5] [6] [22].
- 6) Recomendar posibles mejoras en los sistemas de protección.
- 7) Identificar y reportar sistemas de protección deteriorados.

### ❖ ¿Cómo? – Gerentes:

- 1) Comprender el propósito y las funciones de los sistemas de protección requeridos.
- 2) Brindar soporte la instalación y / o implementación de los sistemas de protección identificados en el DHA.
- 3) Definir y reforzar las expectativas para las actividades y programas de inspección, prueba y mantenimiento preventivo.
- 4) Asegurar que se proporcione la formación adecuada sobre sistemas de protección.
- 5) Comprender la necesidad de una revisión de Gestión de Cambio (MOC) de los cambios de proceso que podrían afectar los sistemas de protección existentes, o de los cambios en los propios sistemas de protección.
- 6) Definir y reforzar expectativas de cumplimiento de estándares y procedimientos operativos.
- 7) Asegúrese de que todas las deficiencias de los sistemas de protección y los informes de funcionamiento anormal se aborden de inmediato.

### ❖ ¿Cómo? – Ingenieros y Diseñadores:

- 1) Cumplir con los estándares y guías reconocidos por la industria y las expectativas de DHA al diseñar procesos de manejo de polvo y sistemas de protección contra incendios / explosiones. [6] [20] [21].
- 2) Ayudar a definir los requisitos del programa ITPM para sistemas de protección siguiendo los estándares / prácticas recomendadas reconocidas por la industria y las recomendaciones del fabricante. [6] [21].
- 3) Monitorear el desempeño de los sistemas de protección diseñados y actuar para corregir las deficiencias.
- 4) Comprender cómo los cambios en las condiciones del proceso pueden afectar el desempeño de los sistemas de protección.

### ❖ ¿Cómo? - Brigadistas :

- 1) Conocer y aplicar los procedimientos adecuados de extinción de incendios para combatir incendios de polvo combustible, como [12] [15] [14]:
  - a) Uso de boquillas nebulizadoras en lugar de boquillas de chorro directo [6] [22]

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

- b) Procedimientos para combatir incendios en equipos de proceso (por ejemplo, colectores de polvo, silos y contenedores) [12] [13] [15] [14]
  - c) Selección de medios de extinción de incendios apropiados para el manejo de polvo combustible [6] [22]
- 2) Tenga en cuenta que una limpieza deficiente puede introducir combustible adicional para el fuego. [5] [6] [22].
  - 3) Mantener el equipo de extinción de incendios de polvo combustible para que esté operativo cuando sea necesario.
  - 4) Capacitar periódicamente sobre los procedimientos de extinción de incendios por polvo combustible.
  - 5) Asegúrese de que estén disponibles los inventarios adecuados de los medios de extinción de incendios requeridos.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### Regla de Oro #4: Asegúrese siempre de que el personal esté capacitado sobre peligros y controles de peligros.

#### ❖ Por qué:

- 1) El personal de las instalaciones debe estar capacitado sobre los peligros de los polvos combustibles y sus posibles consecuencias para que puedan comprender su papel en la protección contra los peligros.
- 2) El personal de las instalaciones debe recibir capacitación sobre los sistemas de protección diseñados para que comprendan el propósito y la funcionalidad de los sistemas de protección, así como los peligros asociados con su operación.
- 3) El personal debe conocer las limitaciones de los sistemas de protección y cómo, en ocasiones, pueden utilizarse de forma incorrecta.
- 4) El personal debe estar capacitado sobre los controles administrativos y sus responsabilidades para controlar los peligros del polvo combustible.
- 5) Historial de incidentes:
  - a) El 29 de enero de 2003, una explosión y un incendio destruyeron la planta de West Pharmaceutical Services en Kinston, Carolina del Norte, causando seis muertes, decenas de heridos y cientos de pérdidas de puestos de trabajo. La instalación producía tapones de caucho y otros productos para uso médico. El combustible de la explosión fue un polvo plástico fino, que se acumuló sobre un techo suspendido sobre un área de fabricación y se encendió. Aunque la planta tenía la advertencia de MSDS sobre las propiedades explosivas del polvo de polietileno, los empleados no habían recibido ninguna capacitación significativa sobre los peligros del polvo combustible. Si los trabajadores de mantenimiento hubieran estado al tanto de la naturaleza catastrófica de este peligro, podrían haber alertado a la gerencia de la presencia de acumulaciones peligrosamente grandes sobre el techo suspendido. [1].

#### ❖ Cómo – General:

- 1) Reconozca que las consecuencias pueden incluir incendios, fuegos repentinos, explosiones y efectos tóxicos agudos.
- 2) Comprender qué condiciones son necesarias para crear un incendio o una explosión de polvo combustible [5] [6]:
  - a) Un incendio requiere combustible (el polvo), oxidante (típicamente aire) y una fuente de ignición adecuada (Figura 2).
  - b) Un incendio repentino requiere combustible, oxidante, un medio para suspender el polvo para formar una nube combustible y una fuente de ignición adecuada (Figura 3).
  - c) Una explosión requiere combustible, oxidante, un medio para suspender el polvo para formar una nube combustible, una fuente de ignición adecuada y un confinamiento para permitir la acumulación de presión (Figura 4).
- 3) Reconocer que los sistemas de protección incluyen controles administrativos y de ingeniería.

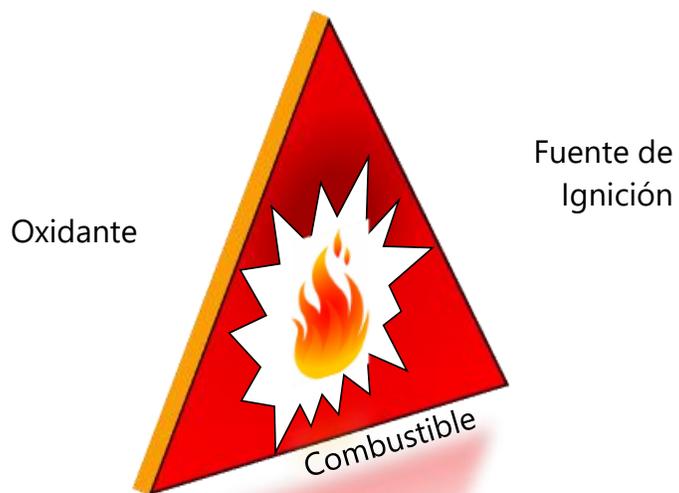


Figura 2. El triángulo del Fuego

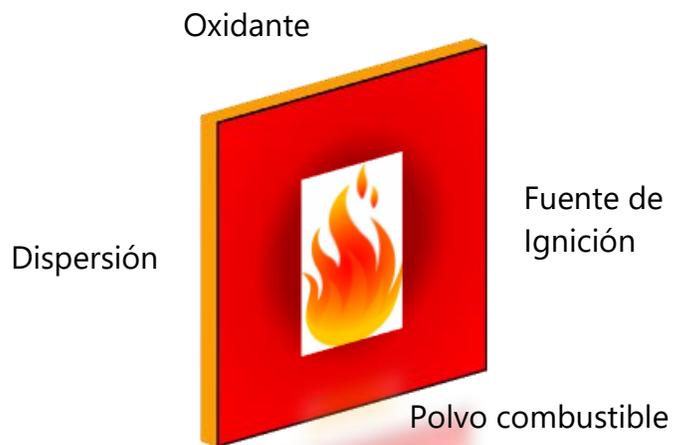


Figura 3. El cuadrilátero de las combustiones súbitas de polvo combustible

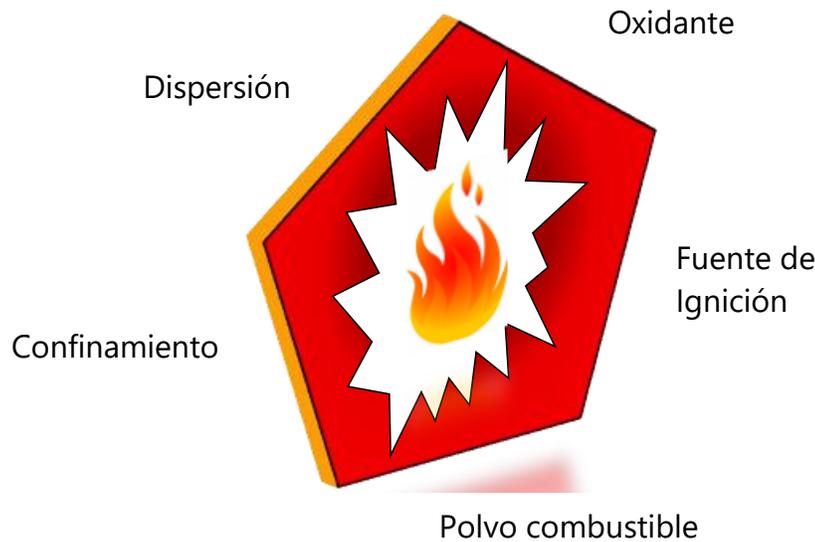


Figura 3. El pentágono de la explosión de polvo combustible

- 4) Comprender cómo los sistemas de protección mitigan las consecuencias, por ejemplo [5] [6] [20] [21]
  - a) Los venteos de deflagración (explosión) reducen la presión dentro de un recipiente o recinto, evitando su daño.
  - b) Los sistemas de supresión de deflagraciones suprimen químicamente la combustión, reduciendo la presión resultante.
  - c) Los sistemas de aislamiento de deflagración evitan la propagación del evento de combustión de un equipo o área a otro.
  - d) Los procedimientos de limpieza reducen el combustible disponible para evitar explosiones secundarias fuera del equipo de proceso.
  - e) La contención por presión de deflagración proporciona un equipo que es lo suficientemente fuerte para resistir la presión de deflagración.
  - f) Varios controles de ingeniería y administrativos están destinados a prevenir la ignición de capas y nubes de polvo. Los ejemplos incluyen evitar materiales eléctricamente no conductores para la fabricación de equipos, conexión a tierra e interconexión de equipos, establecer áreas peligrosas (clasificadas) para la instalación de equipos eléctricos, procedimientos de trabajo en caliente y mantenimiento de equipos energizados [5] [6] [23] [24] [25] [26].
- 5) Comprenda su papel en el diseño, implementación, operación y mantenimiento de los sistemas de protección.
- 6) Documentar el contenido del programa de capacitación, brindar capacitación inicial y de actualización y documentar la capacitación brindada. [28].

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### ❖ **Cómo – Operadores, Mecánicos, y Técnicos:**

- 1) Busque y participe en la capacitación sobre los peligros y las consecuencias del polvo combustible.
- 2) Buscar y participar en capacitaciones sobre el propósito y los procedimientos de los controles administrativos requeridos.
- 3) Comprender el propósito y las funciones de los sistemas de protección de ingeniería requeridos, así como los peligros asociados con su operación.
- 4) Comprender los roles en la implementación, operación y mantenimiento de los sistemas de protección requeridos.

### ❖ **Cómo – Gerentes :**

- 1) Apoyar la capacitación de todo el personal afectado (incluida la gerencia) sobre peligros y controles de peligros.
- 2) Definir y hacer cumplir las expectativas de capacitación sobre peligros y controles de peligros.

### ❖ **Cómo – Ingenieros y Diseñadores:**

- 1) Busque y participe en la capacitación sobre los peligros y las consecuencias del polvo combustible.
- 2) Buscar y participar en capacitaciones sobre el propósito y los procedimientos de los controles administrativos requeridos.
- 3) Comprender el propósito y las funciones de los sistemas de protección de ingeniería requeridos.
- 4) Comprender la interacción de los sistemas de protección diseñados y los controles de procesos.
- 5) Comprender y desempeñar sus funciones en el diseño, implementación, operación y mantenimiento de los sistemas de protección requeridos.

### ❖ **Cómo – Brigadas:**

- 1) Busque y participe en la capacitación sobre los peligros y las consecuencias del polvo combustible.
- 2) Comprender el propósito y las funciones de los sistemas de protección de ingeniería requeridos.
- 3) Consulte la Regla de Oro #3: "Siempre proporcione y mantenga una protección adecuada contra incendios y explosiones".

### Regla de Oro # 5: Nunca permita que se acumulen cantidades peligrosas de polvo en el lugar de trabajo.

#### ❖ Por qué:

- 1) El polvo combustible es un combustible que debe controlarse.
- 2) Donde existan cantidades peligrosas de polvo en las superficies de edificios y equipos, las explosiones iniciales pueden suspender polvo adicional en nubes que pueden conducir a grandes explosiones secundarias.
- 3) Las acumulaciones molestas de polvo pueden entrar en contacto más fácilmente con fuentes potenciales de ignición, como equipos eléctricos calientes que provocan incendios o explosiones.
- 4) El polvo que se encuentra en las elevaciones más altas del edificio generalmente tiene un tamaño de partícula más pequeño y es más peligroso.
- 5) El polvo fuera de la contención puede presentar otros peligros, como toxicidad o problemas de salud ocupacional.
- 6) Historial de incidentes:
  - a) El 7 de febrero de 2008, ocurrieron varias explosiones e incendios enormes en la refinería de Imperial Sugar al noroeste de Savannah, Georgia, que causaron 14 muertes e hirieron a otras 36, incluidas 14 con quemaduras graves y potencialmente mortales. La explosión fue provocada por acumulaciones masivas de polvo de azúcar combustible en todo el edificio de empaque. Las áreas con acumulación excesiva de polvo constituyen áreas de riesgo de incendio y explosión. La gerencia de Imperial Sugar estaba consciente de los peligros asociados con el polvo de azúcar combustible, pero en ausencia de incidentes catastrófico importante durante muchos años de operación de la instalación, las condiciones peligrosas no se corrigieron. La gerencia no hizo cumplir las prácticas adecuadas de diseño y mantenimiento de equipos para controlar el polvo de azúcar y el azúcar derramado. Además, la gerencia no se aseguró de que las actividades de limpieza fueran adecuadas para evitar que el polvo de azúcar y el azúcar derramado se acumularan a niveles peligrosos en el lugar de trabajo. [4].
  - b) El 29 de enero de 2003, una explosión y un incendio destruyeron la planta de West Pharmaceutical Services en Kinston, Carolina del Norte, causando seis muertes, docenas de heridos y cientos de empleos perdidos. La instalación producía tapones de caucho y otros productos para uso médico. El combustible de la explosión fue un polvo plástico fino, que se acumuló sobre un techo suspendido sobre un área de fabricación y se encendió. Aunque la planta tenía la advertencia de MSDS sobre las propiedades explosivas del polvo de polietileno, los empleados no habían recibido ninguna capacitación significativa sobre los peligros del polvo combustible. Si los trabajadores de mantenimiento estaban al tanto de la naturaleza catastrófica de este peligro, podrían haber alertado a la gerencia de la presencia de acumulaciones peligrosamente grandes sobre el techo suspendido. [1]

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

- c) En la noche del 29 de octubre de 2003, una serie de explosiones quemaron gravemente a dos trabajadores (posteriormente una muerte), hirieron a un tercero y causaron daños materiales a la planta de fabricación de Hayes Lemmerz en Huntington, Indiana. La planta de Hayes Lemmerz fabricaba rines para automóviles de aluminio fundido y las explosiones fueron impulsadas por el polvo de aluminio acumulado, un subproducto combustible del proceso de producción de rines. Los gerentes y empleados no sabían que las acumulaciones de polvo de aluminio presentaban un peligro de explosión. [2].

### ❖ Cómo – General:

- 1) Diseñar, operar y mantener equipos para contener polvos según los estándares relevantes de la industria. [5] [6] [18] [22] [29].
- 2) Donde no se pueda evitar la liberación de polvo, proporcione sistemas de recolección de polvo para capturar las emisiones de polvo [5] [6] [18] [22] [29].
- 3) Implementar rigurosos programas de limpieza para abordar las emisiones de polvo no controladas por las opciones 1 y 2 [5] [6] [18] [22] [29].
  - a) Comprenda la importancia de las acumulaciones de polvo y los límites permitidos sobre las acumulaciones de polvo. Como pauta general, se debe minimizar la acumulación de polvo en superficies horizontales. Las indicaciones de acumulación excesiva de polvo comúnmente utilizadas incluyen cuando el grosor de la capa de polvo oscurece el color de la superficie subyacente o excede el grosor de un clip de papel. Existen enfoques más cuantitativos [22].
  - b) Proporcionar procedimientos que describan las prácticas / requisitos de limpieza, incluidas las precauciones contra la suspensión de nubes de polvo durante las actividades de limpieza (por ejemplo, prohibir o controlar el uso de purgas de aire comprimido).
  - c) Establecer frecuencias para el mantenimiento de rutina y abordar los requisitos para la limpieza de derrames.
  - d) Realizar tareas de limpieza de manera que se evite la formación de nubes de polvo y la introducción de fuentes de ignición.
  - e) Asegúrese de que el programa de limpieza se dirija a todas las áreas donde se puede acumular polvo, incluidas las superficies normales para caminar / trabajar y las áreas elevadas. Asigne la responsabilidad de limpiar cada área (por ejemplo, los operadores limpian las superficies de trabajo, los equipos de limpieza contratados limpian las superficies elevadas) para asegurarse de que no haya espacios en el programa de limpieza.
- 4) Monitorear la efectividad de los programas de recolección de polvo y limpieza. [5] [6] [18] [22] [29].
  - a) Mantenga el equipo para maximizar la contención de polvo.
  - b) Evaluar controles de ingeniería adicionales, como puntos de recogida de polvo adicionales donde no se pueden evitar las emisiones de polvo.
  - c) Inspeccione periódicamente el área en busca de acumulaciones de polvo y ajuste las frecuencias de limpieza según sea necesario.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### ❖ Cómo – Operadores, Mecánicos, and Técnicos:

- 1) Comprenda la importancia de las acumulaciones de polvo y los límites permitidos sobre las acumulaciones de polvo. Como pauta general, se debe minimizar la acumulación de polvo en superficies horizontales. Las indicaciones de acumulación excesiva de polvo comúnmente utilizadas incluyen cuando el grosor de la capa de polvo oscurece el color de la superficie subyacente o excede el grosor de un clip de papel.
- 2) Busque y participe en la capacitación sobre el propósito y los procedimientos de limpieza.
- 3) Comprender el propósito y las funciones de los equipos y sistemas de control de polvo de ingeniería requeridos.
- 4) Comprender los roles en la implementación, operación y mantenimiento de los sistemas de protección requeridos.
  - a) Opere y mantenga el equipo lo más hermético al polvo que sea posible.
  - b) Informar las deficiencias del equipo que permitirían la liberación de polvo.
  - c) Asegurarse de que los sistemas de recolección de polvo permanezcan operativos.
  - d) Use PPE apropiado durante las actividades de limpieza cuando sea necesario.
  - e) Evite la producción de nubes de polvo durante la limpieza.
  - f) Cumplir con los requisitos de NFPA 652 con respecto al uso de aspiradoras y purgas de aire comprimido. [1] [19].

### ❖ Cómo – Gerentes:

- 1) Proporcionar personal y recursos adecuados para las actividades de limpieza. Asignar recursos para:
  - a) Corregir las deficiencias del equipo identificadas
  - b) Programa de limpieza en general, incluidos contratistas externos según sea necesario para actividades de limpieza especializadas
- 2) Brindar apoyo a la capacitación de todo el personal afectado (incluida la gerencia) sobre la importancia de una limpieza adecuada.
- 3) Definir y hacer cumplir las expectativas de los programas de limpieza.
- 4) Realizar auditorías de campo periódicas para asegurar la efectividad del programa de limpieza.

### ❖ Cómo – Ingenieros y Diseñadores:

- 1) Diseñe y mantenga el equipo para que sea lo más hermético al polvo posible.
- 2) Comprender el propósito y las funciones de los equipos y sistemas de control de polvo de ingeniería requeridos.
- 3) Proporcione sistemas de recolección de polvo adecuadamente diseñados donde no se pueda prevenir la liberación de polvo del proceso.
- 4) Cumplir con los requisitos / recomendaciones reconocidos de la industria para el diseño de sistemas de recolección de polvo, incluida la protección contra explosiones. [1] [17] [18] [19].
- 5) Proporcione la instrumentación adecuada para monitorear el desempeño del sistema de recolección de polvo.
- 6) Comprender y desempeñar sus funciones en el diseño, implementación, operación y mantenimiento de los sistemas de protección requeridos.
  - a) Informe las deficiencias del equipo que permitirían la liberación de polvo.
  - b) Realizar auditorías de campo periódicas para asegurar la efectividad del programa de limpieza.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

- 7) Asegurar que la gestión de revisiones de cambios se lleve a cabo para cualquier modificación propuesta a los equipos y sistemas de control de polvo diseñados (por ejemplo, el agregado de puntos de recolección de polvo podría requerir un aumento de la capacidad del ventilador).

### ❖ ¿Cómo? – Brigadistas:

- 1) Tenga en cuenta que una limpieza deficiente puede introducir combustible adicional al fuego. [5] [6] [22].
- 2) Reconocer que un incendio de polvo puede servir como fuente de ignición para una explosión posterior.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### Regla de Oro #6: Controle siempre las fuentes de ignición en el lugar de trabajo.

#### ❖ ¿Por qué?:

- 1) Las fuentes de ignición pueden provocar incendios y explosiones en áreas donde podrían existir cantidades peligrosas de polvo combustible, dentro o fuera del equipo.
- 2) Historial de incidentes:
  - a) El 20 de febrero de 2003, una explosión e incendio dañaron la planta de fabricación de CTA Acoustics en Corbin, Kentucky, hiriendo fatalmente a siete trabajadores. La instalación producía aislación de fibra de vidrio para la industria automotriz. Los investigadores de CSB encontraron que la explosión fue provocada por el polvo de resina fenólica acumulado en un área de producción. La resina involucrada se utilizó en la producción de mantas de fibra de vidrio. Se estaba operando un horno con las puertas abiertas debido a un mal funcionamiento del equipo de control de temperatura. Es probable que el material combustible en el horno se incendie y las llamas enciendan una nube de polvo combustible fuera del horno. La gerencia de CTA estaba consciente del potencial explosivo del polvo combustible, pero no implementó medidas efectivas para prevenir explosiones o comunicar el peligro de explosión a la fuerza laboral en general. [28].

#### ❖ Cómo – General:

- 1) Comprender la importancia de los controles de la fuente de ignición, pero reconocer que la identificación y eliminación de cada fuente de ignición no debe considerarse un control de seguridad primario. [5] [6].
- 2) Reconozca que los controles de la fuente de ignición incluyen controles administrativos y de ingeniería.
- 3) Cumplir con los requisitos / recomendaciones reconocidos de la industria para controlar las fuentes de ignición identificadas [5] [6] [23] [24] [26] [25] [27] [31] [32] [33] [34] [35].
  - a) Establecer una designación de área peligrosa (clasificada) y garantizar la instalación y el mantenimiento adecuados de los equipos eléctricos.
  - b) Abordar los controles de la fuente de ignición en los análisis de peligros del polvo (DHA).
  - c) Implementar controles de trabajo en caliente (incluidos equipos motorizados, restricciones de fumar, uso de equipos eléctricos portátiles).
  - d) Evite el uso de materiales de construcción no conductores para todos los equipos.
  - e) Proporcione una interconexión y conexión a tierra adecuadas para los componentes conductores del equipo.
  - f) Proporcione la interconexión y puesta a tierra adecuadas del personal cuando sea apropiado.
  - g) Diseñar y mantener el equipo en movimiento para mantener los espacios internos.
  - h) Ubique los cojinetes fuera del equipo y proporcione la lubricación adecuada.
  - i) Aísle el equipo donde las superficies externas estén por encima de la temperatura de auto ignición del polvo.
  - j) Evite la entrada de objetos extraños en el equipo (por ejemplo, partículas metálicas)
  - k) Tenga en cuenta y controle los peligros de auto calentamiento de los materiales del proceso, según corresponda.
  - l) Implementar y mantener un programa de inspección, prueba y mantenimiento preventivo (ITPM) en todos los controles de encendido. [6] [35].

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### ❖ Cómo – Operadores, Mecánicos, and Técnicos:

- 1) Comprender el propósito y las funciones de los controles de la fuente de ignición.
- 2) Comprender los pasos del procedimiento y las precauciones relacionadas con el control de la fuente de ignición, como el control de las velocidades, secuencias o técnicas de transferencia de material para gestionar los peligros electrostáticos.
- 3) Comprender los roles en la implementación, operación y mantenimiento de los controles de la fuente de ignición.
  - a) Reportar las deficiencias del equipo que comprometerían los controles de la fuente de ignición.
  - b) Siempre vuelva a conectar las correas de conexión y puesta a tierra después de las actividades de mantenimiento.
  - c) Implementar las responsabilidades del programa ITPM, incluidas las lubricaciones de rutina.
  - d) Cumpla siempre con los procedimientos de trabajo en caliente, incluidas las restricciones de fumar. [34].
  - e) Asegúrese de que el personal se conecte a tierra cuando sea apropiado.
  - f) No permita la entrada de objetos extraños en el equipo (p. ej., trozos de metal, herramientas caídas).
  - g) Asegúrese de que se mantengan los controles de áreas peligrosas (clasificadas) después del mantenimiento del equipo eléctrico.
  - h) Asegúrese de que las superficies calientes estén aisladas después del mantenimiento.
- 4) Observe e informe condiciones inusuales, como:
  - a) Chispas, llamas o humo del equipo
  - b) Indicaciones de carbonización en materiales de proceso
  - c) Ruidos inusuales
  - d) Olores inusuales
  - e) Vehículos no autorizados en áreas con peligro de polvo
  - f) Cambios de empaque inesperados. (por ejemplo, tambor de fibra reemplazado por bolsas de plástico)
  - g) Materiales o condiciones de proceso anormalmente calientes

### ❖ ¿Cómo? – Gerentes:

- 1) Brindar soporte a la capacitación de todo el personal afectado (incluida la gerencia) sobre la importancia de un control adecuado de la fuente de ignición.
- 2) Definir y hacer cumplir las expectativas para el control de la fuente de ignición.
- 3) Proporcionar fondos para implementar y mantener controles de fuentes de ignición.
- 4) Realizar auditorías de campo periódicas para asegurar la efectividad del programa de control de encendido.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### ❖ Cómo – Ingeniero y Diseñadores:

- 1) Cumpla con los requisitos / recomendaciones reconocidos de la industria y las expectativas de DHA al diseñar e implementar controles de fuente de ignición diseñados.
- 2) Monitorear el desempeño de los controles de la fuente de ignición y actuar para corregir las deficiencias.
- 3) Realizar auditorías de campo periódicas para asegurar la efectividad del programa de control de encendido.

### ❖ Cómo – Brigadistas:

- 1) Reconozca que las actividades y / o el equipo de respuesta a emergencias pueden introducir fuentes de ignición.
- 2) Reconozca que un incendio de polvo puede servir como fuente de ignición para una explosión posterior.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### Regla de Oro #7: Controle siempre los cambios en los procesos, equipos, procedimientos y sistemas de seguridad.

#### ❖ ¿Por qué?:

- 1) El control de cambios protege la inversión realizada en la realización del análisis de peligros del polvo y la integridad de otros elementos del programa de prevención.
- 2) Los cambios incontrolados pueden agregar o aumentar los peligros y pueden eliminar o debilitar las protecciones.
- 3) Historial de incidentes:
  - a) El 7 de febrero de 2008, ocurrieron varias explosiones e incendios enormes en la refinería de Imperial Sugar al noroeste de Savannah, Georgia, que causaron 14 muertes e hirieron a otras 36, incluidas 14 con quemaduras graves y potencialmente mortales. Las explosiones fueron impulsadas por acumulaciones masivas de polvo de azúcar combustible en todo el edificio de empaque. La primera explosión de polvo se inició en la cinta transportadora de acero cerrada ubicada debajo de los silos de azúcar. Los paneles de cubierta de acero instalados recientemente en la cinta transportadora permitieron que se acumularan concentraciones explosivas de polvo de azúcar dentro del recinto. Una fuente desconocida encendió el polvo de azúcar, provocando una violenta explosión. Las explosiones secundarias y los incendios se propagaron por toda la instalación. La empresa no había evaluado los peligros asociados con la generación y acumulación de polvo combustible dentro del nuevo recinto. No habían instalado un sistema de eliminación de polvo para garantizar que el polvo de azúcar no alcanzara la concentración mínima explosiva (MEC) dentro del recinto. Además, el recinto no estaba equipado con venteos de deflagración (explosión) para dirigir la sobrepresión de manera segura fuera del edificio si el polvo de azúcar en el aire se incendiaba [4].

#### ❖ Cómo – General:

- 1) Tener un programa documentado de gestión de cambios (MOC) que aborde los cambios en los procesos, equipos, procedimientos y sistemas de seguridad de polvo combustible.
- 2) Asegúrese de que todo el personal pueda identificar los cambios que requieran un MOC.
- 3) Mantener una adherencia rigurosa al programa MOC.
  - a) Asegúrese de que todos los cambios se procesen a través del programa MOC.
  - b) Asegurarse de que los MOC consideren el impacto potencial en la seguridad y la salud asociado con el cambio propuesto.
  - c) Asegúrese de que se brinde toda la capacitación requerida antes de iniciar el cambio.
  - d) Asegurar la resolución oportuna de todos los elementos de acción del MOC.
  - e) Asegúrese de obtener todas las aprobaciones necesarias antes de iniciar el cambio.
  - f) Asegurar actualizaciones oportunas de la documentación de la planta afectada.
  - g) Asegurar el regreso oportuno a las condiciones normales para cambios temporales.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### ❖ ¿Cómo? – Operadores, Mecánicos, and Técnicos:

- 1) Comprender cómo identificar un cambio que requiere un MOC, incluidos los cambios de procedimiento, así como los cambios de material o equipo.
- 2) Comprender los roles en la implementación del programa MOC.
- 3) Identificar las notificaciones de trabajos de mantenimiento que pueden requerir un MOC.
- 4) No implemente cambios sin un MOC.
- 5) Participar en las revisiones de seguridad del MOC según se le solicite.
- 6) Asegúrese de recibir capacitación antes de operar después de un cambio.
- 7) Informar los cambios sospechosos no aprobados para su resolución.
- 8) Proponer los cambios necesarios para su consideración. Por ejemplo, si una tarea necesita una herramienta especializada, trabaje con los ingenieros o diseñadores para desarrollar una herramienta adecuada en lugar de crear una herramienta improvisada o una solución alternativa informal.

### ❖ Cómo – Gerentes:

- 1) Desarrollar e implementar un programa documentado de gestión del cambio (MOC).
- 2) Asegurar que el programa MOC se extienda a los procesos, equipos, procedimientos y sistemas de seguridad de polvo combustible.
- 3) Asegurar que el personal reciba capacitación sobre el programa MOC.
- 4) Proporcionar suficientes recursos y prioridad para garantizar que el equipo de revisión de seguridad operacional del MOC pueda realizar una revisión de seguridad de calidad.
- 5) Establecer y reforzar expectativas de cumplimiento de los programas MOC.
- 6) Supervisar el desempeño y el cumplimiento del programa MOC.

### ❖ ¿Cómo? – Ingenieros y Diseñadores:

- 1) Comprender cómo identificar un cambio que requiere un MOC, incluidos los cambios que podrían afectar un programa de limpieza, un área peligrosa (clasificada) o un sistema de protección contra explosiones / incendios.
- 2) Comprender los roles en la implementación del programa MOC.
- 3) Proponer los cambios necesarios para su consideración.
- 4) No busque implementar cambios sin un MOC.
- 5) Busque la opinión de todas las partes afectadas (los ejemplos incluyen operadores, mantenimiento, abastecimiento, instrumentación / control, etc.) al revisar los cambios propuestos.
- 6) Involucrar a los brigadistas en las evaluaciones de MOC, según corresponda
- 7) Sirve como persona responsable de MOC según corresponda.
- 8) Ayudar a proporcionar capacitación específica en MOC a los operadores y otro personal afectado.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### ❖ Cómo – Brigadistas:

- 1) Participar en las revisiones de MOC según se solicite y proporcionar información sobre el impacto de la respuesta de emergencia del cambio propuesto.

### ❖ Lectura / Recursos suplementarios: [5] [6] {Capítulo 15, MOC [28]} [37]

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

### Regla de Oro #8: Investigue siempre los incidentes de polvo combustible y los cuasi accidentes y aplique lo aprendido.

#### ❖ Por qué:

- 1) Las investigaciones de incidentes y cuasi accidentes proporcionan valiosos aprendizajes que, aplicados correctamente, pueden reducir la posibilidad de incidentes similares o repetidos en el futuro.
- 2) Los aprendizajes de la investigación brindan la oportunidad de fortalecer otros elementos de seguridad del proceso.
- 3) Historial de incidentes y cuasi accidentes:
  - a) El 31 de enero de 2011, Hoeganaes Corporation experimentó un incendio repentino de polvo combustible que resultó en lesiones fatales de cinco trabajadores. Los operadores y mecánicos informaron haber estado involucrados en múltiples incendios repentinos durante su empleo en la instalación. En el momento de los incidentes, muchos empleados sabían que el polvo de hierro podía arder, incluso sin llama. Sin embargo, no estaban capacitados para comprender el peligro potencialmente severo cuando el polvo acumulado se dispersa en el aire. Rara vez los operadores reportarían los incendios menores y los cuasi accidentes que ocurrieron periódicamente. Con el tiempo, estos incendios repentinos se aceptaron como eventos normales. [39].
  - b) En la noche del 29 de octubre de 2003, una serie de explosiones quemaron gravemente a dos trabajadores (posteriormente una muerte), hirieron a un tercero y causaron daños a la propiedad de la planta de fabricación de Hayes Lemmerz en Huntington, Indiana. Hayes no tenía un programa formal y documentado para investigar e implementar acciones correctivas para incidentes relacionados con incendios en el área de la fundición, especialmente aquellos provocados por polvo de aluminio. A lo largo de la historia del sistema de chips secos de Huntington, habían ocurrido eventos que podrían haber alertado a Hayes sobre la posibilidad de una explosión de polvo. Sin embargo, la gerencia de Hayes no fue informada y no investigó esos eventos. [2].

#### ❖ Cómo – General:

- 1) Tener un programa documentado de investigación de incidentes y cuasi accidentes para eventos que involucren polvos combustibles. Las liberaciones involuntarias de polvo combustible deben investigarse de manera similar a una liberación involuntaria de gases o líquidos inflamables.
- 2) Asegúrese de que todo el personal pueda identificar incidentes y cuasi accidentes que requieran una investigación.
- 3) Utilice técnicas adecuadas para investigar incidentes y cuasi accidentes.
- 4) Siempre que sea posible, asegúrese de que las investigaciones vayan más allá de los factores físicos y / o humanos que permiten que ocurra el incidente para poder identificar las causas a nivel del sistema. Esto permite comprender por qué estuvieron presentes los factores físicos y humanos, de modo que los incidentes futuros se puedan prevenir de manera más amplia y eficaz.
- 5) Evaluar la efectividad de las capas de protección e identificar las deficiencias que requieren mejoras.
- 6) Documentar y compartir los resultados de las investigaciones de incidentes y cuasi accidentes.
- 7) Resuelva rápidamente los incidentes y los puntos de acción de investigación de cuasi accidentes.
- 8) Realice un seguimiento de los datos de incidentes para identificar incidentes recurrentes y cuasi accidentes que requieran una mayor investigación para identificar posibles factores causales recurrentes.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

- 9) Reconozca que no todos los incidentes representan el evento del "peor de los casos". El hecho de que el evento solo resultó en un pequeño incendio no significa que no sea posible un evento más grande.

### ❖ Cómo – Operadores, Mecánicos, and Técnicos:

- 1) Comprender cómo identificar incidentes y cuasi accidentes que requieren investigación.
- 2) Comprender los roles en la implementación del programa de investigación.
- 3) Informar incidentes y cuasi accidentes para su investigación.
- 4) Participar en las investigaciones (como miembro del equipo o testigo) según se le solicite.
- 5) Mantener el conocimiento del historial de incidentes y cuasi accidentes.
- 6) Ayude a implementar elementos de acción de investigación.
- 7) Sea consciente de sus acciones que podrían conducir a un incidente o cuasi accidente, incluidas las acciones en respuesta a condiciones anormales.
- 8) Conocer e implementar, cuando sea factible, las acciones que se podrían tomar para evitar las consecuencias del incidente se escalen.

### ❖ Cómo – Gerentes:

- 1) Desarrollar e implementar un programa de investigación de incidentes y cuasi incidentes. documentados
- 2) Asegurar que el programa de investigación se extienda a los sistemas / operaciones de polvo combustible.
- 3) Asegurar que el personal reciba capacitación sobre el programa de investigación.
- 4) Establecer y reforzar expectativas de cumplimiento del programa de investigación.
- 5) Asegúrese de que las investigaciones de incidentes se inicien con prontitud y de que la recopilación de datos (incluida la evidencia física, las observaciones de testigos y los datos electrónicos) comience antes y / o durante las actividades de limpieza.
- 6) Asegurar la disponibilidad de investigadores líderes capacitados y con experiencia, y llamar a expertos externos según sea necesario.
- 7) Asegúrese de que el equipo de investigación esté compuesto por personal que pueda proporcionar una investigación objetiva.
- 8) Asegúrese de que el equipo de investigación incluya personal que comprenda los principios de seguridad relacionados con el polvo combustible.
- 9) Proporcionar suficientes recursos y prioridad para garantizar que el equipo de investigación pueda realizar una investigación de calidad.
- 10) Proporcionar recursos para permitir la resolución oportuna de los elementos de acción de la investigación.
- 11) Compartir lo aprendido con otras instalaciones.
- 12) Monitorear las tendencias en la causalidad de incidentes de polvo para identificar y abordar cualquier problema sistémico.
- 13) Supervisar el desempeño y el cumplimiento del programa de investigación..

### ❖ Cómo – Ingeniero y Diseñadores:

- 1) Comprender cómo identificar incidentes y cuasi accidentes que requieren investigación.
- 2) Comprender los roles en la implementación del programa de investigación.

## Reglas de Oro para los Polvos Combustibles

- 3) Informar incidentes y cuasi accidentes para su investigación.
- 4) Participar en las investigaciones (como miembro del equipo o testigo) según se le solicite.
- 5) Proporcionar acceso a los datos del proceso (registros de eventos digitales, registros de instrumentación, estado del sistema, etc.) para usarlos en el desarrollo de la línea de tiempo del incidente.
- 6) Mantener el conocimiento del incidente y el historial de casi accidentes.
- 7) Ayude a implementar los elementos de acción de la investigación.
- 8) Sea consciente de sus acciones que podrían conducir a un incidente o un cuasi accidente.
- 9) Ayudar a proporcionar capacitación sobre el aprendizaje de la investigación al personal afectado.

### ❖ **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 le solicite.
- 3) Informe al equipo de investigación de cualquier cambio operativo que hayan realizado los servicios de emergencia durante la respuesta al incidente (por ejemplo, apertura o cierre de válvulas, reubicación de artículos).
- 4) Evaluar la respuesta a incidentes de emergencia para oportunidades de mejora.

### ❖ **Lectura / Recursos suplementarios: [5] [6] {{Capítulo 19, Investigación de incidentes [28]} [38]**

### Referencias

- [1] NFPA, "NFPA 652, Standard on the Fundamentals of Combustible Dust," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [2] R. P. Pohanish and S. A. Greene, "Wiley Guide to Chemical Incompatibilities," John Wiley & Sons, Hoboken, NJ USA, 2009.
- [3] CCPS, "Chemical Reactivity Worksheet," 2019. [Online]. Available: <https://www.aiche.org/ccps/resources/chemical-reactivity-worksheet>.
- [4] OSHA, *OSHA Firefighting Precautions at Facilities with Combustible Dusts*, OSHA Publication 3644-04, Washington, D.C. USA: US Occupational Safety and Health Administration, 2013.
- [5] NIOSH, "Preventing Fatalities Due to Fires and Explosions in Oxygen-Limiting Silos, Publication Number 86-118," National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Washington, DC USA, 1986.
- [6] CCPS, *Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids*, Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 2004.
- [7] W. L. Frank and S. A. Rodgers, *Guide to Combustible Dusts*, National Fire Protection Agency (NFPA), 2012.
- [8] R. K. Eckhoff, "Dust Explosions in the Process Industries, 3rd ed., Gulf Professional Publishing," Gulf Professional Publishing, Houston, TX USA, 2003.
- [9] H. Persson, "Silo Fires - Fire Extinguishing and Preventive and Preparatory Measures," Swedish Civil Contingencies Agency (MSB), Publ. No. MSB586, Karlstad, Sweden, 2013.
- [10] OSHA, "OSHA Precautions for Firefighters to Prevent Dust Explosions (OSHA Quick Card Publication 3674)," Occupational Safety and Health Administration (US OSHA), Washington, D.C. USA.
- [11] CCPS, *Incidents That Define Process Safety*, Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 2008.
- [12] CSB, "Combustible Dust Hazard Study, Report Number 2006-H-1," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB), Washington, DC USA, 2006.
- [13] W. L. Frank, "Dust Explosion Prevention and the Critical Importance of Housekeeping," *Process Safety Progress*, vol. 25, no. 3, pp. 175 - 184, 2004.
- [14] CCPS, *Guidelines for Combustible Dust Hazard Analysis*, Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 2017.
- [15] CSB, "Imperial Sugar Company Dust Explosion and Fire, Report 2008-05-I-GA," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Washington, DC USA, 2009.
- [16] CSB, "Hayes Lemmerz Dust Explosions and Fire - Final Report, Report No. 2004-01-I-IN," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Washington, D.C. USA, 2005.
- [17] NFPA, "NFPA 68, Explosion Protection by Deflagration Venting," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [18] NFPA, "NFPA 69, Standard on Explosion Prevention Systems," National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA USA.
- [19] NFPA, "NFPA 654, Standard of the Prevention of Fire and Dust Explosion from the Manufacture, Processing and Handling of Combustible Particulate Solids," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [20] NFPA, "NFPA 77, Recommended Practice on Static Electricity," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [21] NFPA, "NFPA 70, National Electric Code," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.

- [22] NFPA, "NFPA 499, Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [23] NFPA, "NFPA 496, Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [24] FM Global, "Prevention and Mitigation of Combustible Dust Explosion and Fire, Data Sheet 7-76," FM Global, City (Website)?.
- [25] CSB, "West Pharmaceutical Services Dust Explosions and Fire-Final Report, Report No. 2003-07-I-NC," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, Washington, D.C. USA, 2004.
- [26] CCPS, Guidelines for Risk Based Process Safety (RBPS), New York, NY: AIChE, John Wiley & Sons, 2007.
- [27] OSHA, "Hazard Communications Guidance for Combustible Dust," US Occupational Safety and Health Administration, Washington, D.C. USA, 2009.
- [28] CSB, "CTA Acoustics Dust Explosions and Fire - Final Report, Report No. 2003-09-I-KY," U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB), Washington, D.C. USA, 2005.
- [29] CCPS, Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions (Pratt), Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 1997.
- [30] CCPS, Avoiding Static Ignition Hazards in Chemical Operations (Britton), Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 1999.
- [31] IEC, "Explosive Atmospheres - Part 32-1: Electrostatic Hazards – Guidance, IEC 60079-32-1," International Electrotechnical Commission (IEC), webstore.iec.ch.
- [32] IEC, "Explosive Atmospheres - Part 10-2: Classification of Areas - Explosive Dust Atmospheres, IEC 60079-10-2:2015," International Electrotechnical Commission (IEC), webstore.iec.ch.
- [33] NFPA, "NFPA 70B, Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [34] NFPA, "NFPA 51B, Standard for Fire Prevention During Welding, Cutting, and Other Hot Work," National Fire Protection Agency (NFPA), Quincy, MA USA.
- [35] CSB, "Hoeganaes Corporation Fatal Flash Fires-Final Report, Report No. 2011-4-I-TN," U.S. Chemical Safety and Hazard Board (CSB), Washington, D.C. USA, 2012.
- [36] CCPS, Guidelines for Investigating Process Safety Incidents, 3rd Edition, Hoboken, N. J.: John Wiley & Sons, 2019.
- [37] CSB, "Combustible Dust Hazard Study, Report Number 2006-H-1," US Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB), csb.gov, 2006.
- [38] Chlorine Institute, "Safe Handling of Chlorine Containing Nitrogen Trichloride, Pamphlet 152, Edition 4," 2018.
- [39] World Chlorine Council (WCC), "Global Safety Team Newsletter, December, Number 12," 2009.
- [40] Chlorine Insitute, "Nitrogen Trichloride – A Collection of Reports and Papers, Pamphlet 21, Edition 7," 2017.
- [41] EuroChlor, "Maximum Levels of Nitrogen Trichloride in Liquid Chlorine, GEST 76/55, Edition 13," 2019.
- [42] Chlorine Insitute, "Personal Protective Equipment for Chlor-Alkali Chemicals, Pamphlet 65, Edition 6," 2015.
- [43] EuroChlor, "Design and Operation of Chlorine Vaporisers, GEST 75/47, Edition 11," 2019.
- [44] EuroChlor, "Corrosion Behaviour of Carbon Steel in Wet and Dry Chlorine, GEST 10 362, Edition 2," 2013.
- [45] EuroChlor, "Materials of construction for use in contact with Chlorine, GEST 79 82, Edition 11," 2013.

- [46] Chlorine Institute, "Behavior and Measurement of Moisture in Chlorine, Pamphlet 100, Edition 5," 2018.
- [47] Chlorine Institute, "Learning from Experience, Pamphlet 167, Edition 3," 2014.
- [48] U.S. Fire Administration, "Massive Leak of Liquefied Chlorine Gas Henderson, Nevada, Technical Report Series, USFA-TR-052," 1991.
- [49] Chlorine Institute, "Chlorine Basics, Pamphlet 1, Edition 8," 2014.
- [50] EuroChlor, "The Chlorine Reference Manual, GEST 06/317, Edition 2," 2017.
- [51] Chlorine Institute, "Piping Systems for Dry Chlorine, Pamphlet 6, Edition 17," 2020.
- [52] Chlorine Institute, "Chlorine Vaporizing Systems, Pamphlet 9, Edition 8," 2018.
- [53] EuroChlor, "Transfer of Dry Chlorine by Piping Systems, GEST 73/25, Edition 12," 2018.
- [54] Chlorine Institute, "Emergency Response Plans, Pamphlet 64, Edition 7," 2020.
- [55] Chlorine Institute, "Reactivity and Compatibility of Chlorine and Sodium Hydroxide with Various Metals, Pamphlet 164, Edition 3," 2017.
- [56] European Industrial Gases Association (EIGA), "Cleaning of Equipment for Oxygen Service, EIGA Doc 33/18 (or IGC Doc 33/18)".
- [57] Compressed Gas Association (CGA), "Cleaning Equipment for Oxygen Service, G-4.1, Edition 7," 2018.
- [58] EuroChlor, "Commissioning and Decommissioning of Installations for Dry Chlorine Gas and Liquid, GEST 80/84, Edition 6," 2013.
- [59] World Chlorine Council (WCC), "Global Safety Team Newsletter, Number 20," December 2011.
- [60] US Chemical Safety Board (CSB), "DPC Enterprises Festus Chlorine Release, Report No. 2002-04-I-MO," May 2003.
- [61] Chlorine Institute, "Improper Material of Construction on Highly Chlorinated Water Piping, Safety Alert," March 2019.
- [62] Chlorine Institute, "2018 Performance Indicator Report," June 14, 2019.
- [63] API, "Material Verification for New and Existing Alloy Piping, API 578, Edition 3," 2018.
- [64] EuroChlor, "Stud Bolts, Hexagon Head Bolts and Nuts for Liquid Chlorine, GEST 88/134," 2018.
- [65] EuroChlor, "Experience of Gaskets on Liquid and Dry Chlorine Gas Service, GEST 94/216, Edition 5," 2019.
- [66] EuroChlor, "Valves Requirements and Design for Use on Liquid Chlorine, GEST 06/318, Edition 5," 2019.
- [67] Chlorine Institute, "Gaskets for Chlorine Service, Pamphlet 95, Edition 5," 2017.
- [68] EuroChlor, "Storage of Liquid Chlorine, GEST 73/17, Edition 8," 2019.
- [69] Chlorine Institute, "Bulk Storage of Liquid Chlorine, Pamphlet 5, Edition 9," 2017.
- [70] Chlorine Institute, "Sodium Hydroxide Solution and Potassium Hydroxide Solution (Caustic) Storage Equipment and Piping Systems, Pamphlet 94, Edition 5," 2018.
- [71] Chlorine Institute, "Explosive Properties of Gaseous Mixtures Containing Hydrogen and Chlorine, Pamphlet 121, Edition 4," 2016.
- [72] EuroChlor, "Hydrogen in Chlorine Safety, GEST 17/490, Edition 1," Jun 2019.
- [73] World Chlorine Council (WCC); Global Safety Team Newsletter, "Eurochlor H2 limits, Number 17," March 2011.
- [74] National Fire Protection Agency (NFPA), "Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas, NFPA 497," 2021.
- [75] Chlorine Institute, "Sodium Hypochlorite Manual, Pamphlet 96, Edition 5," 2017.

- [76] US Chemical Safety Board (CSB), "Key Lessons for Preventing Inadvertent Mixing During Chemical Unloading Operations, No. 2017-01-I-KS," 2017.
- [77] Chlorine Institute, "2016 Chlorine Institute Performance Indicator Report, July 24," 2017.
- [78] Eurochlor, "Overpressure Relief of Chlorine Installations, GEST 87/133, Edition 6," 2018.
- [79] OSHA, "Combustible Dust in Industry: Preventing and Mitigating the Effects of Fire and Explosions," US OSHA, Washington, D.C., Safety and Health Information Bulletin, SHIB 07-31-2005, Updated 11-12-2014.
- [80] P. E. Urben, "Bretherick's Handbook of Reactive Chemical Hazards, 8th ed.," Elsevier, Amsterdam, 2017.
- [81] CCPS, Guidelines for the Management of Change for Process Safety, Hoboken, NJ USA: John Wiley & Sons, 2008.

---

Reglas de Oro en Seguridad de Procesos para: Polvos Combustibles

GR2 – Polvo Combustible, Enero 2021

Copyright 2021 American Institute of Chemical Engineers

[www.aiche.org/ccps](http://www.aiche.org/ccps)

---