



U.S. Chemical Safety and
Hazard Investigation Board

Fractura de equipos y cloruro de hidrógeno fatal Escape en Wacker Polysilicon North America

Charleston, TN | Fecha del incidente: 13 de noviembre de 2020 | Núm. 2021-01-I-TN

Reporte de investigación

Publicado: Junio de 2023



CUESTIONES CLAVE:

- Procedimientos escritos
- Control de energía peligrosa
- Operaciones simultáneas
- Medios de salida





U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board

**La misión de la U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB) es
*impulsar la excelencia en seguridad química a través de investigaciones
independientes
para proteger a las comunidades, los trabajadores y el medio ambiente.***

La CSB es una agencia federal independiente encargada de investigar, determinar e informar al público por escrito los hechos, las condiciones y las circunstancias y la causa o la causa probable de cualquier escape accidental de productos químicos que resulte en una muerte, lesiones graves o daños sustanciales a la propiedad.

La CSB emite recomendaciones de seguridad basadas en datos y análisis de investigaciones y estudios de seguridad. La CSB aboga por estos cambios para prevenir la probabilidad o minimizar las consecuencias de los escapes accidentales de productos químicos.

Se puede acceder a más información sobre la CSB y los productos de la CSB en www.csb.gov o poniéndose en contacto con:

U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board

1750 Pennsylvania Ave. NW, Suite 910
Washington, DC 20006
(202) 261-7600

La CSB fue creada por las Enmiendas a la Ley de Aire Limpio de 1990 y la CSB recibió financiamiento por primera vez y comenzó a operar en 1998. La CSB no es un organismo de aplicación o regulación. Ninguna parte de las conclusiones, hallazgos o recomendaciones de la CSB en relación con cualquier escape accidental o la investigación del mismo se admitirá como evidencia o se utilizará en cualquier acción o juicio por daños que surja de cualquier asunto mencionado en dicho informe. Sección 7412(r)(6)(G) del título 42 del Código de los Estados Unidos (U.S.C., por sus siglas en inglés).

El 13 de noviembre de 2020, la fractura del equipo y el escape de cloruro de hidrógeno en Wacker Polysilicon North America provocó lesiones mortales a Jesús Jared Aguilar Montes.

ÍNDICE

ABREVIATURAS.....	5
RESUMEN EJECUTIVO	7
1 ANTECEDENTES	13
1.1 Wacker	13
1.2 Contratistas	13
1.2.1 <i>Jake Marshall</i>	13
1.2.2 <i>Pen Gulf</i>	13
1.3 Cloruro de hidrógeno y ácido clorhídrico	13
1.4 Cloruro de hidrógeno y materiales de construcción	14
1.5 Intercambiador de calor AW234	14
1.6 Requisitos de torqueo	15
1.7 Estructura de acceso al equipo.....	16
1.8 Cobertura regulatoria	18
1.9 Descripción del entorno.....	18
2 DESCRIPCIÓN DEL INCIDENTE.....	21
3 ANÁLISIS TÉCNICO	26
4 PROBLEMAS DE SEGURIDAD.....	28
4.1 Procedimientos escritos.....	28
4.1.1 <i>Requisitos reguladores y directrices de la industria</i>	28
4.1.2 <i>Instrucciones verbales</i>	29
4.1.3 <i>Falta de procedimiento</i>	30
4.2 Control de energía peligrosa.....	32
4.3 Operaciones simultáneas (SIMOP)	34
4.3.1 <i>Prácticas laborales de Wacker</i>	34
4.3.2 <i>Normas y directrices de las SIMOP</i>	38
4.4 Medios de salida	46
4.4.1 <i>Identificación de la brecha de salida de los empleados de Wacker en el PHA</i>	46
4.4.2 <i>Aplicación de Wacker del Código Internacional de la Construcción</i>	47
4.4.3 <i>Brecha en los códigos y normas de medios de salida</i>	48
5 CONCLUSIONES	51

5.1 Consideraciones 51

5.2 Causa 52

6 RECOMENDACIONES 53

6.1 Recomendaciones emitidas anteriormente reemplazadas en este informe..... 53

6.1.1 *Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)* 53

6.2 Nuevas recomendaciones..... 54

6.2.1 *Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)* 54

6.2.2 *Wacker Polysilicon* 54

6.2.3 *Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Tennessee (TOSHA)*..... 56

6.2.4 *Centro para la Seguridad de Procesos Químicos (CCPS)* 56

6.2.5 *Consejo Internacional de Códigos (ICC)*..... 57

6.2.6 *Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA)*..... 57

7 LECCIONES CLAVE PARA LA INDUSTRIA 58

8 REFERENCIAS 59

APÉNDICE A: ANÁLISIS CAUSAL (ACCIMAP) 61

APÉNDICE B: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA CIRCUNDANTE 62

ABREVIATURAS

ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
ASSP	American Society of Safety Professionals
CFR	Código de Reglamentos Federales
CSB	U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board
EPA	Agencia de Protección Ambiental
HCl	Cloruro de hidrógeno, ácido clorhídrico
IBC	Código Internacional de la Construcción
ICC	Consejo Internacional de Códigos
IFC	Código Internacional de Protección contra Incendios
NDT	Pruebas no destructivas
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra Incendios
NIOSH	Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional
OEM	Fabricante original de equipo
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional
PHA	Análisis de riesgos de procesos
PPE	Equipo de protección personal
PSM	Gestión de la Seguridad de Procesos
PTFE	Politetrafluoroetileno
RMP	Programa de Gestión de Riesgos
SEM	Microscopio electrónico de barrido
SIMOP	Operaciones simultáneas
SOP	Procedimiento Operativo Estándar

TOSHA Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Tennessee

RESUMEN EJECUTIVO

El 13 de noviembre de 2020, un intercambiador de calor de grafito se agrietó durante las actividades de mantenimiento y liberó cloruro de hidrógeno (HCl, por sus siglas en inglés) gaseoso en las instalaciones de Wacker Polysilicon North America (Wacker) en Charleston, Tennessee. El incidente ocurrió en el quinto piso de una estructura de acceso a equipos cuando un instalador de tuberías contratista aplicó un torque excesivo a los pernos de brida en una tubería de salida de un intercambiador de calor que contenía HCl, lo que provocó que la tubería se agrietara y se produjera el escape del HCl.

En el momento del incidente, siete trabajadores de dos empresas contratistas se encontraban presentes en la plataforma del quinto piso, que estaba equipada con una única escalera de acceso y salida. Tres de los trabajadores, encargados del torqueo de los pernos, vestían trajes de cuerpo completo resistentes a productos químicos. A los otros cuatro trabajadores, que eran de la otra empresa, se les asignó el equipo de aislamiento y solo vestían ropa estándar resistente al fuego. La ubicación del escape y la incapacidad de los trabajadores para ver claramente su entorno en la nube blanca creada por el escape del HCl impidió que todos los trabajadores pudieran acceder a la escalera para salir de la plataforma. Para escapar de la liberación del HCl, tres de los trabajadores del contratista que no usaban trajes resistentes a productos químicos de cuerpo completo comenzaron a descender por la tubería en el costado de la estructura, ubicada aproximadamente a 70 pies sobre el suelo. Al intentar bajar, los tres trabajadores cayeron al suelo. Un trabajador resultó fatalmente lesionado por la caída y los otros dos sufrieron heridas graves. Después de que cesó el escape, los cuatro trabajadores que aún permanecían en la plataforma del quinto piso usaron las escaleras para evacuar el área y llegar al suelo.

Además de la fatalidad y las lesiones graves, el sitio de Wacker sufrió \$214,000 en daños a la propiedad.

PROBLEMAS DE SEGURIDAD

La investigación de la CSB identificó los problemas de seguridad detallados a continuación.

- **Procedimientos escritos.** Wacker encargó a instaladores de tuberías contratistas torquear los pernos de brida en un segmento de tubería viva equipado con múltiples pernos con diferentes requisitos para el torque. Wacker no tenía un procedimiento escrito para ejecutar la tarea de torqueo y, en cambio, se basó en el manual del equipo del fabricante de tuberías para comunicar los requisitos para el torque a los contratistas. Sin embargo, el manual no incluía los requisitos para el torque para los pernos que estaban demasiado apretados. La falta de claridad resultante de los diferentes requisitos para el torque condujo a un exceso de torque involuntario de los pernos de brida en el equipo operativo vivo, la fractura del equipo y el escape del HCl. ([Sección 4.1](#))
- **Control de energía peligrosa.** Wacker no trató las operaciones de torqueo en equipos que contenían productos químicos peligrosos como una ruptura de línea o como una actividad que requería aislamiento de energía peligrosa, ya que no implicaba la apertura intencional de una línea. Como tal, Wacker no realizó un análisis de riesgo para determinar si la tarea de torque se podía realizar de manera segura en el equipo en operación, ni implementó precauciones para mitigar el riesgo del torqueo de los pernos en el equipo en operación antes de emitir un permiso de trabajo seguro a los instaladores de tuberías, lo que podría haber restringido la presencia de los aisladores en el área y evitado su daño. ([Sección 4.2](#))

- **Operaciones simultáneas (SIMOP).** Cuando ocurrió el incidente, cuatro trabajadores de una empresa contratista independiente estaban realizando una tarea de aislamiento de tuberías no relacionada en la estructura, según lo permitido por Wacker, y estaban presentes en la plataforma del quinto piso cerca del equipo de trabajo del instalador de tuberías. Wacker no tenía una política o procedimiento para evaluar las operaciones simultáneas (SIMOP, por sus siglas en inglés), una situación en la que dos o más operaciones ocurren juntas en un momento y lugar. Además, existe una falta general de directrices reguladoras y de la industria sobre las consideraciones de las SIMOP disponibles para empresas como Wacker. Como resultado, Wacker no evaluó los riesgos asociados con las tareas de trabajo simultáneas y los trabajadores contratados que no participaban en la tarea de torqueo estaban expuestos innecesariamente al escape del HCl. ([Sección 4.3](#))
- **Medios de salida.** Durante el incidente, siete trabajadores estaban presentes en la plataforma del quinto piso, que estaba equipada con un solo punto de salida. Wacker diseñó la estructura de acceso al equipo con un único punto de salida según los requisitos del código de construcción para una “plataforma de equipo que no pueden ocuparse”. La CSB descubrió que los requisitos de construcción actuales del Código Internacional de Construcción y de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios no proporcionan suficientes medios de salida desde las plataformas de trabajo elevadas que se utilizan para acceder a equipos que contienen materiales peligrosos. Además, tres meses antes del incidente durante el análisis de riesgos de procesos, los empleados de Wacker identificaron la necesidad de un segundo punto de salida, pero Wacker no tomó ninguna medida para abordar esta recomendación antes del incidente. ([Sección 4.4](#))

CAUSA

La CSB determinó que la causa del incidente fue el torqueo excesivo involuntario de los pernos en una conexión de brida de tubería del HCl a un intercambiador de calor, lo que resultó en la fractura de la tubería de salida del intercambiador de calor y el escape del HCl gaseoso en las cercanías de siete trabajadores contratados. La falta de procedimientos escritos y la falta de control de energía peligrosa por parte de Wacker contribuyeron a que ocurriera el evento y la falta de un programa de SIMOP de Wacker y la inexistencia de directrices reguladoras y publicadas de la industria sobre las SIMOP contribuyeron a la gravedad del evento. Los medios de salida limitados de Wacker desde la estructura de acceso al equipo y la inexistencia de directrices y normas reguladoras sobre los medios de salida de las estructuras industriales al aire libre también contribuyeron a la gravedad del evento.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones emitidas anteriormente reemplazadas en este informe

A la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)

2020-07-I-NC-R2 (de Evergreen Packaging Paper Mill - Informe de incendios durante trabajo en caliente)

Exigir a los propietarios y operadores que aseguren la coordinación de operaciones simultáneas que involucren múltiples grupos de trabajo, incluidos los contratistas. Incluir en el requisito para que los propietarios y operadores garanticen que se lleven a cabo las siguientes actividades:

- identificación de potenciales operaciones simultáneas;
- identificación de posibles interacciones peligrosas;
- evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir operaciones simultáneas seguras;
- coordinación, incluidos los métodos de comunicación compartidos, entre las operaciones simultáneas; e
- inclusión de personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las operaciones simultáneas.

Según sea necesario, solicitar al ente regulador que promulgue este requisito.

Reemplazado por 2021-01-I-TN-R1 de OSHA a continuación.

Nuevas recomendaciones

A la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)

2021-01-I-TN-R1 (Reemplaza 2020-07-I-NC-R2 del informe Evergreen Packaging 2020 de la CSB)

Promulgar una norma o modificar las normas existentes para exigir a los empleadores que aseguren la coordinación de operaciones simultáneas (SIMOP) que involucren a múltiples grupos de trabajo, incluidos los contratistas. Asegurarse de que los requisitos de esta norma o normas se apliquen tanto a la industria general como a las actividades de construcción y no se limiten a las actividades que ocurren dentro de espacios confinados. Incluir en los requisitos estándar para que los empleadores garanticen la realización de las siguientes actividades:

- a. identificación de SIMOP potenciales;
- b. identificación de posibles interacciones peligrosas;
- c. evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir SIMOP seguras;
- d. coordinación, incluyendo métodos de comunicación compartidos, entre las SIMOP; e
- e. inclusión del personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las SIMOP.

2021-01-I-TN-R2

Desarrollar un producto de seguridad que brinde directrices sobre la coordinación de operaciones simultáneas (SIMOP) que involucre a múltiples grupos de trabajo, incluidos los contratistas, que no se limite a espacios confinados o construcción. Proporcionar directrices sobre las siguientes actividades:

- a. identificación de SIMOP potenciales;
- b. identificación de posibles interacciones peligrosas;
- c. evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir SIMOP seguras;
- d. coordinación, incluyendo métodos de comunicación compartidos, entre las SIMOP; e
- e. inclusión del personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las SIMOP.

A Wacker Polysilicon

2021-01-I-TN-R3

Desarrollar procedimientos de mantenimiento detallados para las actividades de torqueo que:

- a. comuniquen claramente las diferentes especificaciones para el torqueo del equipo, como las de los pernos instalados en conexiones de PTFE a PTFE y de PTFE a grafito a través de medios visuales como fotografías anotadas, señalización, diferenciación física y otros métodos, según corresponda;
- b. incluyan los requisitos de procedimiento para todas las actividades de torqueo realizadas en equipos que contengan material peligroso para realizar un análisis de ingeniería y riesgo e implementar medidas de seguridad como resultado del análisis de riesgo, según el PCC-1-2019 *Directrices de ASME PCC-1-2019 para el ensamblaje de juntas de brida atornilladas con límite de presión* y ANSI/ASSP Z244.1-2016 *El control de energía peligrosa Bloqueo, etiquetado y métodos alternativos* de la American Society of Mechanical Engineers (ASME);
- c. aseguren que términos como “torqueo en caliente” estén claramente definidos y que los empleados y contratistas estén capacitados en estos términos; y
- d. aseguren que los procedimientos y la capacitación cumplan con los requisitos de integridad mecánica del estándar de Gestión de la Seguridad de Procesos (PSM, por sus siglas en inglés) que se encuentra en el artículo 1910.119 (j) del título 29 del Código de Reglamentos Federales (CFR, por sus siglas en inglés) y la regla del Programa de Gestión de Riesgos (RMP, por sus siglas en inglés) que se encuentra en el artículo 68.73 del título 40 del CFR.

2021-01-I-TN-R4

Desarrollar requisitos de políticas para garantizar que las actividades de torqueo realizadas en equipos que contienen energía peligrosa se realicen de manera segura, por ejemplo, mediante la eliminación del inventario de equipos o la restricción del personal no esencial y la garantía de que los trabajadores esenciales usen el equipo de protección personal (PPE, por sus siglas en inglés) adecuado. Documentar estos requisitos en procedimientos, como *Lock, Tag and Try; First Line Break – Return to Service*; u otros procedimientos según corresponda. Asegurarse de que los empleados y contratistas estén capacitados en estos procedimientos de acuerdo con los requisitos estándar de Gestión de la Seguridad de Procesos (PSM) que se encuentran en los artículos

1910.119(f)(4) y 1910.119(g) del título 29 del CFR y la norma del Plan de Gestión de Riesgos (RMP) que se encuentra en los artículos 68.69(d) y 68.71 del título 40 del CFR.

2021-01-I-TN-R5

Desarrollar e implementar un programa formalizado de operaciones simultáneas (SIMOP) que aborde las tareas de trabajo en el mismo lugar planificadas y permitidas, que incluyan:

- a. identificación de SIMOP potenciales;
- b. identificación de posibles interacciones peligrosas;
- c. evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir SIMOP seguras;
- d. coordinación, incluyendo métodos de comunicación compartidos, entre las SIMOP; e
- e. inclusión del personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las SIMOP.

Asegurar que el personal relevante esté capacitado en la ejecución del programa de las SIMOP.

2021-01-I-TN-R6

Instalar medios de salida adicionales para las plataformas de la torre de desorción T230 y otras estructuras de equipos de varios pisos en el sitio. Después de completar estas instalaciones, asegurarse de que los trabajadores conozcan las ubicaciones de salida de las plataformas de la estructura mediante capacitación, simulacros u otras técnicas, según corresponda.

A la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Tennessee (TOSHA)

2021-01-I-TN-R7

Promulgar una norma o modificar las normas existentes para exigir a los empleadores que aseguren la coordinación de operaciones simultáneas (SIMOP) que involucren a múltiples grupos de trabajo, incluidos los contratistas. Asegurarse de que los requisitos de esta norma o normas se apliquen tanto a la industria general como a las actividades de construcción y no se limiten a las actividades que ocurren dentro de espacios confinados. Incluir en los requisitos estándar para que los empleadores garanticen la realización de las siguientes actividades:

- a. identificación de SIMOP potenciales;
- b. identificación de posibles interacciones peligrosas;
- c. evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir SIMOP seguras;
- d. coordinación, incluyendo métodos de comunicación compartidos, entre las SIMOP; e
- e. inclusión del personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las SIMOP.

Al Centro para la Seguridad de Procesos Químicos (CCPS)

2021-01-I-TN-R8

Desarrollar y publicar un producto de seguridad sobre Prácticas laborales seguras, que incluya lineamientos prácticos y detallados para evaluar operaciones simultáneas (SIMOP). El producto, como mínimo, debe:

- a. abordar el contenido que se encuentra en el recurso del sitio web del CCPS para implementar prácticas laborales seguras; y
- b. discutir las pautas para un ciclo de vida de las SIMOP, que incluyan:
 1. métodos para identificar las SIMOP;
 2. métodos para realizar una evaluación de peligros mediante las SIMOP;
 3. salvaguardias y controles relativos a las SIMOP;
 4. preparación para las SIMOP; y
 5. ejecución de las SIMOP.

Al desarrollar este producto de seguridad, tenga en cuenta los hallazgos presentados en el informe de la CSB titulado *Fire During Hot Work at Evergreen Packaging Paper Mill (Fuego durante trabajo en caliente en Evergreen Packaging Paper Mill)* y este informe de la CSB, titulado *Equipment Fracture and Fatal Hydrogen Chloride Release at Wacker Polysilicon North America (Fractura de equipo y el escape fatal de cloruro de hidrógeno en Wacker Polysilicon North America)*.

Al Consejo Internacional de Códigos (ICC)

2021-01-I-TN-R9

Modificar el Código Internacional de Construcción (IBC, por sus siglas en inglés) para abordar las condiciones que pueden requerir múltiples medios de salida desde plataformas de equipos elevados que se utilizan para acceder a equipos que contienen materiales que presentan riesgos físicos y para la salud, como el que se usó en Wacker en este incidente. Especificar la cantidad mínima de puntos de salida para aumentar la probabilidad de que el trabajador escape en caso de que se produzca un escape de material peligroso.

A la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA)

2021-01-I-TN-R10

Revisar el *Life Safety Code (Código de seguridad humana)* de la NFPA 101, *Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code (Código de fluidos criogénicos y gases comprimidos)* de la NFPA 55 o *Hazardous Materials Code (Código de materiales peligrosos)* de la NFPA 400 para abordar las condiciones que pueden requerir múltiples medios de salida de estructuras industriales elevadas que contienen materiales peligrosos que presentan riesgos físicos y para la salud, independientemente de su combustibilidad. velocidad de combustión o probabilidad de explosión. Las directrices deben abordar las situaciones de salida para los trabajadores en estructuras elevadas sin paredes en presencia de materiales que presentan riesgos físicos y para la salud. Especificar la cantidad mínima de puntos de salida para aumentar la probabilidad de que el trabajador escape en caso de que se produzca un escape de material peligroso.

1 ANTECEDENTES

1.1 WACKER

Wacker Polysilicon North America LLC (Wacker) inició operaciones de producción en Charleston, Tennessee, en 2016. Wacker fabrica siliconas y silicio policristalino hiperpuro^a (polisilicio) que se utiliza en la producción de procesadores electrónicos y energía fotovoltaica para paneles solares. En 2019, Wacker también comenzó a producir sílice pirogénica,^b que se usa en la fabricación de caucho de silicona, pinturas, revestimientos, pasta de dientes y salsa de tomate [1]. Wacker emplea aproximadamente a 700 trabajadores en el sitio de Charleston, Tennessee.

1.2 CONTRATISTAS

1.2.1 JAKE MARSHALL

Jake Marshall, LLC (Jake Marshall) es un contratista mecánico general con sede en Chattanooga, Tennessee, y proporciona la fabricación, el mantenimiento y la instalación de tuberías y equipos, así como otros servicios [2]. Wacker contrató a Jake Marshall para proporcionar servicios de mantenimiento e instalación de tuberías.

1.2.2 PEN GULF

Pen Gulf Inc. (Pen Gulf) es una empresa contratista especializada en revestimientos y aislamientos industriales, así como en otros servicios. Tiene su sede en Pensacola, Florida, y una oficina regional en Charleston, Tennessee [3]. Wacker contrató a Pen Gulf para que brindara mantenimiento de aislamiento en el proceso de tuberías.

1.3 CLORURO DE HIDRÓGENO Y ÁCIDO CLORHÍDRICO

Las operaciones de fabricación de polisilicio en las instalaciones de Wacker requieren el uso de cloruro de hidrógeno (HCl). El HCl gaseoso es un gas incoloro y corrosivo con un olor fuerte e irritante. El HCl gaseoso es un vapor a temperatura y presión atmosféricas. La exposición al HCl gaseoso puede causar lesiones que van desde una leve irritación de los ojos, los pulmones y la piel hasta quemaduras graves, inflamación de las vías respiratorias, acumulación de líquido en los pulmones y la muerte [4].

Cuando el HCl se disuelve en agua, forma ácido clorhídrico. El ácido clorhídrico es corrosivo y puede provocar lesiones graves en caso de escape [5]. Específicamente, la exposición al ácido clorhídrico puede dañar los ojos, la piel y las membranas mucosas. La exposición de la piel al ácido clorhídrico puede causar quemaduras graves, ulceración y cicatrización [6].

^a Wacker define “hiperpuro” como silicio elemental que contiene impurezas del orden de partes por billón.

^b La sílice pirogénica, también llamada sílice pirógena, es una sílice amorfa hecha de subproductos del proceso de polisilicio hiperpuro [1].

1.4 CLORURO DE HIDRÓGENO Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

El HCl gaseoso y el ácido clorhídrico son altamente corrosivos para la mayoría de los materiales de construcción metálicos y de aleaciones metálicas comúnmente utilizados para tuberías y equipos industriales [7]. Para evitar que el HCl corrosivo dañe el equipo, el equipo en contacto directo con el HCl en las instalaciones de Wacker está diseñado con interiores forrados de grafito^a o politetrafluoroetileno (PTFE, por sus siglas en inglés)^b.

1.5 INTERCAMBIADOR DE CALOR AW234

El incidente ocurrió cuando se produjo el escape de HCl gaseoso de una grieta que se formó en la boquilla de salida de vapor de un intercambiador de calor en servicio de HCl (referido por Wacker como intercambiador de calor AW234) después de que un instalador de tuberías contratista sin darse cuenta apretó demasiado los pernos de brida instalados en el intercambiador de calor. El intercambiador de calor constaba de una carcasa de acero al carbono (que contenía agua de refrigeración) y un haz de tubos de grafito (que contenía HCl). En Figura 1 se muestra una fotografía del intercambiador de calor.



Figura 1. Intercambiador de calor AW234. (Crédito: CSB)

El intercambiador de calor estaba equipado con una boquilla de salida de grafito^c por la que salía HCl gaseoso. Como se muestra en **Figura 2**, el equipo de tubería conectado a la boquilla de grafito se construyó con PTFE y

^a El grafito, una forma cristalina de carbono, es inherentemente resistente a la corrosión con buena estabilidad química, buena conductividad térmica y baja permeabilidad [35]. Se usa ampliamente en la fabricación de intercambiadores de calor, a menudo como un material compuesto impregnado con una resina para formar grafito que tiene excelentes características de transferencia de calor que pueden soportar fluctuaciones de temperatura y presión, así como las tensiones mecánicas que se encuentran en las aplicaciones de procesos industriales normales [36]. Sin embargo, el grafito es un material quebradizo con poca deformación plástica, por lo que el material construido con grafito debe diseñarse de manera que se eviten los esfuerzos de tracción y de cizallamiento [41, p. 646].

^b La instalación de Wacker Charleston utiliza tuberías de acero al carbono revestidas con politetrafluoroetileno (PTFE).

^c La boquilla de salida del HCl gaseoso era una boquilla de cuatro pulgadas de diámetro construida con grafito impregnado con resina.

acero al carbono revestido con PTFE,^a que era el material de construcción preferido de Wacker para la inspección del HCl.

Los pernos que se usaron para conectar el equipo de la boquilla a la tubería de acero al carbono revestida con PTFE requerían varios requisitos de apriete (torqueo), según los materiales de construcción del equipo que se conectaba y las propiedades de los pernos. El fabricante del intercambiador de calor indica que el torque recomendado para los pernos que conectan el equipo al intercambiador de calor de grafito (los pernos azules en **Figura 2**) es de 15 pies-libras. Por el contrario, el requisito para el torque para conectar componentes de tuberías de acero al carbono revestidos con PTFE (que se muestra en **Figura 2**) es significativamente mayor, de 40 a 67 pies-libras.

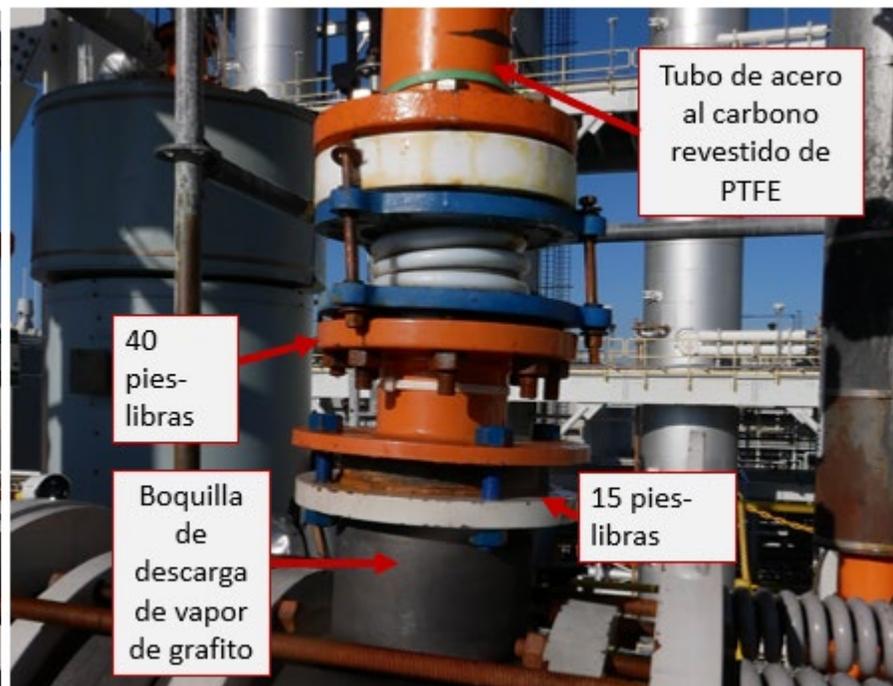


Figura 2. Configuración de tubería de descarga de vapor AW234. (Crédito: CSB)

1.6 REQUISITOS DE TORQUEO

Las tuberías revestidas de PTFE, como el equipo instalado en la unidad de regeneración del HCl, requieren volver a torqu coastar los pernos de la brida para minimizar las fugas causadas por la relajación de los pernos. Volver a torqu coastar implica llevar la unidad de proceso a la temperatura de funcionamiento, permitir que se enfríe a

^a La boquilla de salida de vapor de grafito se conectó a una pieza de carrete revestida de PTFE usando un anillo de refuerzo de acero al carbono y sujetadores recubiertos con PTFE azules. La pieza del carrete se conectó a una junta de expansión de PTFE, requerida por el fabricante del intercambiador en todas las conexiones de la boquilla de grafito al intercambiador (la boquilla de entrada del lado del tubo, así como las boqu coastas de salida del lado del tubo de vapor y líquido). El uso de juntas de expansión en los intercambiadores de calor de grafito minimiza la carga de tensión aplicada a las boqu coastas de grafito por las tuberías conectadas y previene el daño al material de grafito causado por las tensiones de carga de la tubería. La junta de expansión se conectó a un espaciador de brida de PTFE y la tubería aguas abajo se construyó con acero al carbono revestido con PTFE. Se requiere el revestimiento de PTFE en el acero al carbono para reducir significativamente la corrosión cuando está en contacto directo con HCl.

temperatura ambiente y volver a apretar al valor establecido. Como describe el fabricante original del equipo (OEM, por sus siglas en inglés):

Se debe volver a aplicar el torque dentro de las 24 horas posteriores al torque inicial o después del primer ciclo térmico. Esto permite el asentamiento del plástico y la relajación de los pernos. Si el sistema va a funcionar a temperaturas elevadas, se recomienda que el agua caliente circule a la temperatura máxima de funcionamiento del proceso (si es posible) durante un mínimo de 24 horas. Esto permite que el sistema de tuberías experimente un ciclo térmico. Después del enfriamiento, se debe volver a torqupear el sistema.^a

Parte del personal de Wacker se referiría a este método de reajustar los accesorios revestidos con PTFE como “torque en caliente”, mientras que otros usaron el término para referirse a un torqueo de las bridas en condiciones de funcionamiento en vivo. Este término no estaba documentado en ninguna política o procedimiento oficial de Wacker, pero era lenguaje coloquial entre el personal de Wacker.

1.7 ESTRUCTURA DE ACCESO AL EQUIPO

El intercambiador de calor AW234 estaba ubicado en una plataforma del quinto piso, que se muestra en **Figura 3**. La plataforma del quinto piso estaba equipada con una única escalera, visible en **Figura 3**, para el acceso y la salida. La plataforma estaba aproximadamente a 70 pies sobre el suelo.

^a Extracto del manual de instalación y operación del OEM de tuberías revestidas de PTFE.

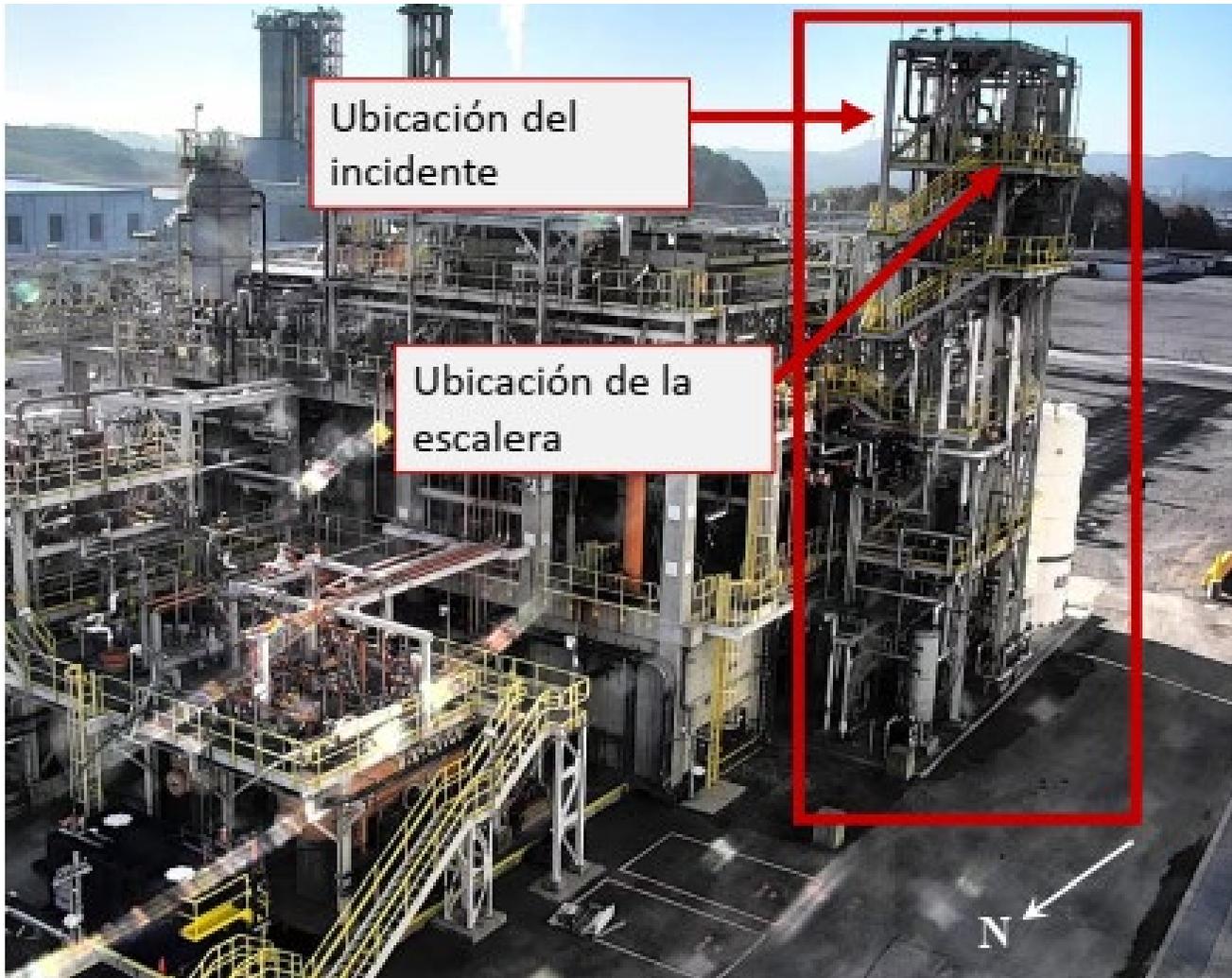


Figura 3. Estructura de acceso al equipo donde ocurrió el incidente. La flecha direccional es aproximada. (Crédito: Wacker, anotaciones de la CSB)

Se habían montado andamios en el quinto piso (**Figura 4**) para apoyar las actividades de mantenimiento programadas. También se ubicó una ducha de seguridad de emergencia (**Figura 5**) en la plataforma del quinto piso.



Figura 4. Andamios ubicados cerca del escape que obstruyen el movimiento en la plataforma. (Crédito: CSB)



Figura 5. Ducha de seguridad del quinto piso. (Crédito: CSB)

1.8 COBERTURA REGULATORIA

Wacker está regulado por la Norma de Gestión de la Seguridad de Procesos (PSM) de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) (artículo 1910.119 del título 29 del CFR) y la Norma del Programa de Gestión de Riesgos (RMP) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) (artículo 68 del título 40 del CFR) para su procesamiento de sustancias químicas altamente peligrosas y sustancias extremadamente peligrosas, incluido el HCl [8, 9]. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional de Tennessee (TOSHA) supervisa un plan estatal aprobado por la OSHA y es responsable del cumplimiento de la PSM en Tennessee.

1.9 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO

La **Figura 6** muestra la instalación de Wacker Polysilicon y describe el área dentro de una, tres y cinco millas del límite de la instalación. El área circundante dentro de una milla de la instalación es rural, con aproximadamente 10 residencias e incluye otras instalaciones industriales. La

Tabla 1 resume la información demográfica de los bloques censales que rodean inmediatamente la instalación.^a Los datos demográficos detallados se incluyen en el **Apéndice B**.

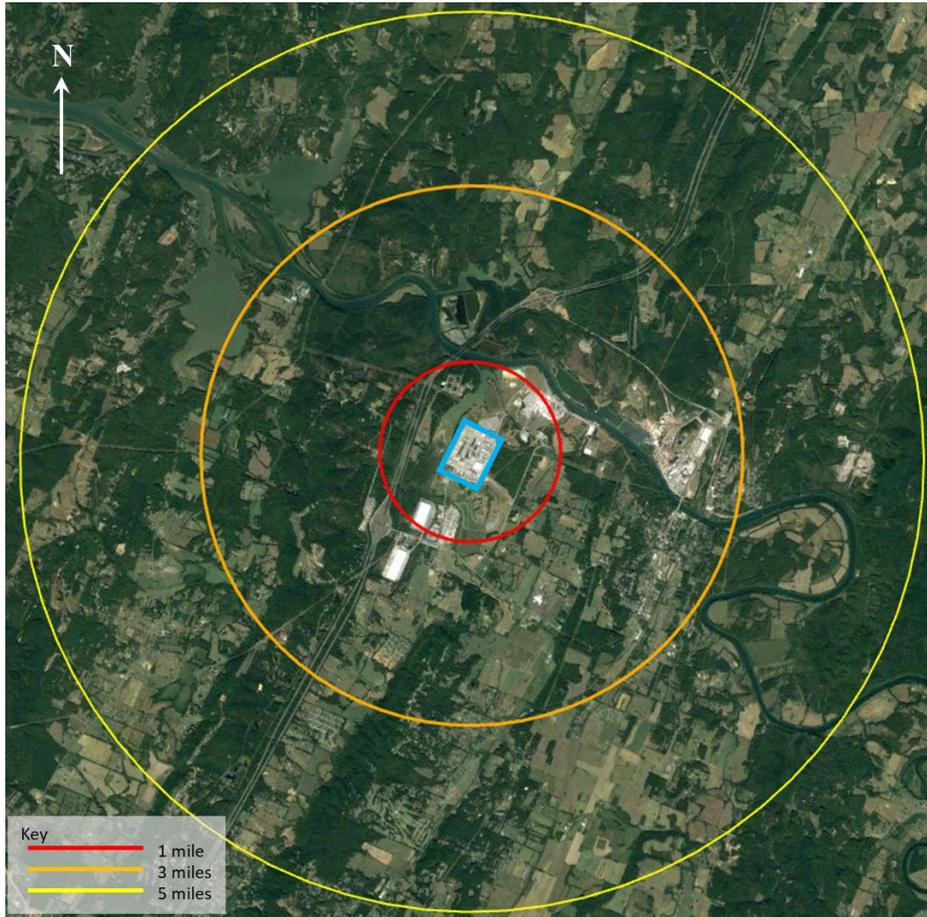


Figura 6. Imagen satelital aérea de la instalación Wacker Polysilicon (azul) y el área circundante. (Fuente: Google, anotaciones de la CSB)

^a El desglose de datos del censo más pequeño incluye poblaciones de hasta 5 millas de la instalación.

Tabla 1. Datos demográficos resumidos de los bloques censales en las inmediaciones de las instalaciones de Wacker Polysilicon. (Fuente: reportero del censo [10])

Raza y etnicidad		Ingreso per cápita ^a	Número de unidades de vivienda	Tipos de unidades de vivienda	
Blancos	85 %	\$29,608	2,621	Pieza individual	78 %
Negros	5 %			Propiedad vertical	6 %
Nativos	0 %			Casa móvil	15 %
Asiáticos	1 %			Barco, RV, furgoneta, etc.	0 %
Isleños	0 %			X	
Otros	0 %				
Más de dos	3 %				
Hispanos	6 %				

^a La Oficina del Censo informa que el ingreso per cápita de los Estados Unidos para 2021 es de \$41,285 [40].

2 DESCRIPCIÓN DEL INCIDENTE

El 2 de noviembre de 2020, Wacker inició una interrupción programada de dos semanas, llamada cambio de rumbo, de la unidad de regeneración del HCl para realizar mantenimiento de rutina, actualizaciones de equipos y reparaciones de equipos. Durante este cambio, Wacker reemplazó segmentos del intercambiador de calor AW234.

Durante el turno de noche del 12 de noviembre de 2020, los operadores de Wacker reiniciaron la unidad de regeneración del HCl, introdujeron ácido en el sistema y llevaron la unidad a temperaturas y presiones operativas. Aproximadamente a las 7:00 a. m. del 13 de noviembre de 2020, la unidad alcanzó las condiciones normales de operación.

A las 8:00 a. m., Wacker emitió a Jake Marshall un permiso de trabajo para realizar un “torque en caliente” del intercambiador de calor AW234, en el que Jake Marshall tenía la tarea de comprobar el par de torques de todos los pernos de la tubería de salida de vapor del intercambiador de calor (**Figura 7**). El autorizador de permisos de Wacker y el supervisor de Jake Marshall luego recorrieron el área de trabajo y revisaron el permiso y el equipo de torqueo. El autorizador de permisos de Wacker también proporcionó al supervisor de Jake Marshall un paquete de información que contenía el manual de instalación y operación de tuberías, que incluía los valores de torque recomendados por el fabricante para las conexiones de tuberías de PTFE a PTFE, pero no para conexiones de grafito como la de la boquilla del intercambiador de calor de grafito. El manual incluía especificaciones de torque para tubería de cuatro pulgadas, que era el tamaño de la tubería instalada en la boquilla y la línea de descarga del AW234. El paquete incluía especificaciones de torque para pernos recubiertos con PTFE de 24 a 40 pies-libras y pernos sin recubrimiento de PTFE de 40 a 67 pies-libras. La información proporcionada en el paquete se refería únicamente a las conexiones de PTFE a PTFE. El paquete proporcionado a Jake Marshall no contenía información que indicara la recomendación para el torque de 15 pies-libras para los pernos conectados a la boquilla del intercambiador de calor de grafito. Antes de la fecha del incidente,^a Wacker le había proporcionado a Jake Marshall el dibujo del diseño del intercambiador de calor, que especificaba el requisito para el torque de 15 pies-libras. El dibujo de diseño se publicó en un tráiler de reuniones cercano. Sin embargo, en la fecha del incidente, los trabajadores de Jake Marshall que realizaban la tarea de torqueo no tenían el dibujo del diseño.

A las 8:10 a. m., el autorizador de permisos de Wacker abandonó el área y el supervisor de Jake Marshall condujo a un obrero especializado y dos aprendices al intercambiador de calor AW234 para revisar las tareas e indicar las conexiones de tubería específicas que debían apretar. Una vez que se proporcionaron las instrucciones verbales, los trabajadores regresaron a la planta baja para prepararse para el trabajo y el supervisor abandonó el área.^b

Alrededor de las 9:15 a. m., los trabajadores de Pen Gulf llegaron al quinto piso y comenzaron a prepararse para las actividades de aislamiento. Sin saber del trabajo de torque permitido y planificado, los empleados de Pen

^a La CSB no pudo determinar la fecha exacta en la que Wacker entregó el dibujo del diseño del intercambiador de calor a Jake Marshall.

^b El supervisor supervisaba a los instaladores de tuberías de Jake Marshall. El obrero especializado es un plomero autorizado en el estado de Tennessee [37]. Los aprendices inscritos en un programa local de capacitación de aprendices a través del Departamento del Trabajo de los Estados Unidos, Oficina de Aprendizaje y Capacitación [38]. En la ejecución de la tarea de torqueo en caliente, el supervisor revisó las actividades de todos los trabajadores de Jake Marshall y el obrero especializado en instalación de tuberías supervisó las actividades de los instaladores de tuberías aprendices.

Gulf usaban el equipo de protección personal (PPE) mínimo requerido por Wacker: ropa resistente a las llamas, botas de seguridad con punta de acero y cascos, con respiradores de escape y arneses de seguridad en su posesión, así como gafas de seguridad y guantes.



Figura 7. Tubería de salida de vapor de HCl en la boquilla de salida de vapor del intercambiador de calor AW234. (Crédito: CSB)

En algún momento antes de las 10:00 a. m., el obrero especializado Jake Marshall y el aprendiz de instalación de tuberías regresaron al quinto piso de la estructura vistiendo trajes de cuerpo completo resistentes a productos químicos, botas y guantes de goma, y respiradores de cara completa con cartuchos de gas ácido según lo exige la ley. una política interna de Jake Marshall que cubre trabajos relacionados con tuberías que contienen productos químicos peligrosos.^a Antes de que comenzaran el trabajo, el obrero especializado Jake Marshall instruyó a un aprendiz sobre qué pernos apretar en la línea de salida de vapor AW234, que incluía conexiones bridadas de PTFE a PTFE que incluía conexiones bridadas de PTFE a PTFE que requerían un torque de 40 pies-libras y conexiones bridadas de PTFE a grafito, que según el fabricante, requerían un torque de 15 pies-libras (consulte las secciones 1.5 y **Figura 2**), aunque el obrero especializado y el aprendiz no poseían ninguna documentación que indicara el requisito para el torque de 15 pies-libras. El obrero especializado le indicó al aprendiz que se comunicara con el supervisor de Jake Marshall para obtener más instrucciones una vez que se completara el torqueo inicial. El obrero especializado le proporcionó al aprendiz una llave dinamométrica ajustada a 40 pies-libras y se trasladó a revisar el trabajo en otro lugar del área.

^a Wacker estableció los requisitos mínimos de PPE para la instalación. Sin embargo, Jake Marshall optó por implementar requisitos de PPE más protectores para la tarea de torque. Luego de un incidente anterior de escape de sustancias químicas en julio de 2020 en Wacker en el que los empleados de Jake Marshall sufrieron quemaduras químicas graves, Jake Marshall implementó una política interna de la empresa que exige que los empleados que trabajan en tuberías que contienen sustancias químicas peligrosas usen trajes químicos. Además, Jake Marshall completó una lista de verificación de evaluación de riesgos para el trabajo de torqueo en caliente del día que requería que los trabajadores de Jake Marshall usaran botas químicas, trajes químicos y protección respiratoria (respiradores de cara completa con cartuchos de gas ácido) además de los requisitos mínimos de PPE de Wacker.

Cuando los trabajadores de Pen Gulf se encontraron con los trabajadores de Jake Marshall que se preparaban para comenzar la tarea de torque usando respiradores y ropa de protección química, les preguntaron a los trabajadores de Jake Marshall si a ellos (los empleados de Pen Gulf) se les permitía estar en el área. Un empleado de Jake Marshall les dijo a los trabajadores de Pen Gulf que podían permanecer en el área ya que los trabajadores de Jake Marshall no estaban trabajando con productos químicos. En este momento había tres empleados de Jake Marshall y cuatro de Pen Gulf en la plataforma,^a ubicados en las áreas aproximadas que se muestran en la **Figura 8**.

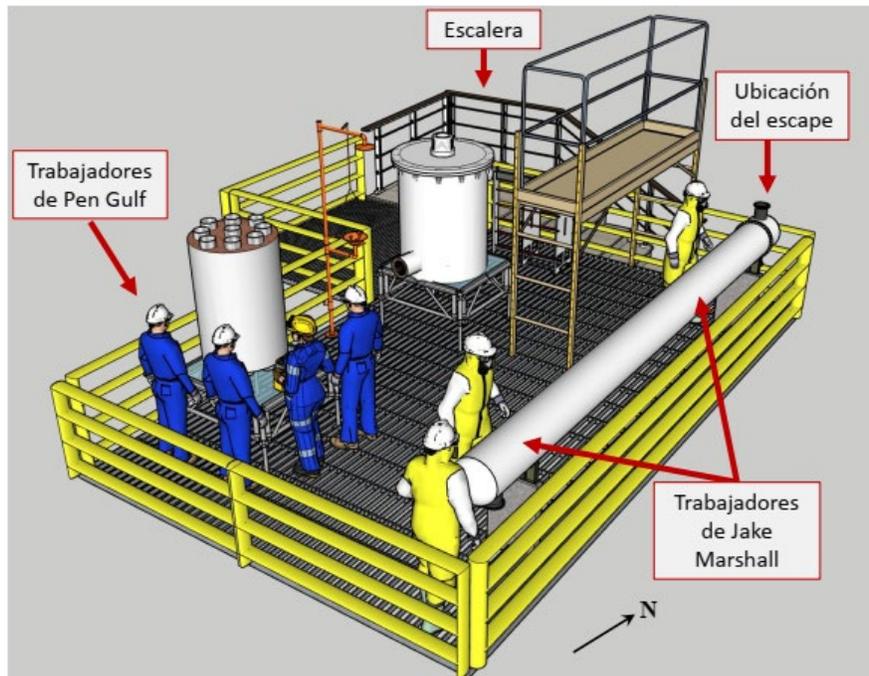


Figura 8. Ubicaciones de trabajo de Pen Gulf y Jake Marshall. La figura no está a escala y pretende brindar una representación espacial general de los trabajadores y el equipo. (Crédito: CSB a través de SketchUp)

Justo después de las 10:00 a. m., el aprendiz de instalador de tuberías de Jake Marshall usó la llave dinamométrica fijada en 40 pies-libras para comprobar el torqueo de los pernos azules (que se muestran en la **Figura 9**), que tienen un valor del torqueo recomendado por el fabricante de 15 pies-libras. A las 10:04 a. m., el exceso de torqueo aplicado a los pernos azules hizo que el intercambiador de calor de grafito AW234 se agrietara y liberara HCl gaseoso (**Figura 10**).

^a El quinto piso está aproximadamente a 70 pies sobre la planta baja y mide 19 pies de ancho y 38 pies de largo.



Figura 9. Ubicación de la revisión del torque. Un empleado de Jake Marshall estaba revisando los pernos que conectaban la brida de grafito cuando ocurrió el escape. (Crédito: CSB)



Figura 10. Imagen del escape del HCl en el momento del escape (izquierda) y 15 segundos después del escape (derecha). (Crédito: Wacker)

Una nube gaseosa blanca de HCl llenó el área en 15 segundos (**Figura 10**), lo que impidió que los trabajadores en la plataforma pudieran ver su entorno. Cuando el aprendiz de instalador de tuberías de Jake Marshall intentó

alejarse del escape, su traje químico se enganchó y se abrió, lo que permitió que el HCl entrara en el traje y le causara quemaduras químicas en la piel. Mientras estaba envuelto en la nube blanca de HCl, también chocó con el equipo en la plataforma, lo que derribó su respirador. Debido a la ruptura de su PPE y la ubicación del escape, el aprendiz de instalador de tuberías no pudo escapar a la única escalera para salir de la plataforma. Se trasladó al lado opuesto de la plataforma donde habían estado trabajando los otros empleados de Jake Marshall y Pen Gulf (**Figura 11**). Los trabajadores de Jake Marshall colocaron al trabajador lesionado en la ducha de seguridad adyacente para protegerlo del escape (**Figura 5**).

Tres de los cuatro empleados de Pen Gulf se pusieron sus respiradores de escape. Al darse cuenta de que tendrían que caminar a través del escape químico para acceder a la escalera de la única plataforma para escapar del área, estos tres trabajadores de Pen Gulf comenzaron a descender por la tubería en el costado de la estructura, aproximadamente a 70 pies sobre el suelo. Mientras bajaban, los tres trabajadores cayeron al suelo. Un trabajador resultó fatalmente lesionado por la caída y dos sufrieron lesiones graves.

El trabajador restante de Pen Gulf recibió ayuda para ponerse el respirador de escape de parte de un trabajador de Jake Marshall, quien, usando PPE resistente a químicos, también intentó protegerlo del escape. El escape continuó durante aproximadamente tres minutos, hasta que todo el HCl gaseoso había escapado del sistema. Después de que el escape se detuviera aproximadamente a las 10:07 a. m., los tres trabajadores de Jake Marshall y un trabajador de Pen Gulf usaron las escaleras para evacuar el área y llegar al suelo.

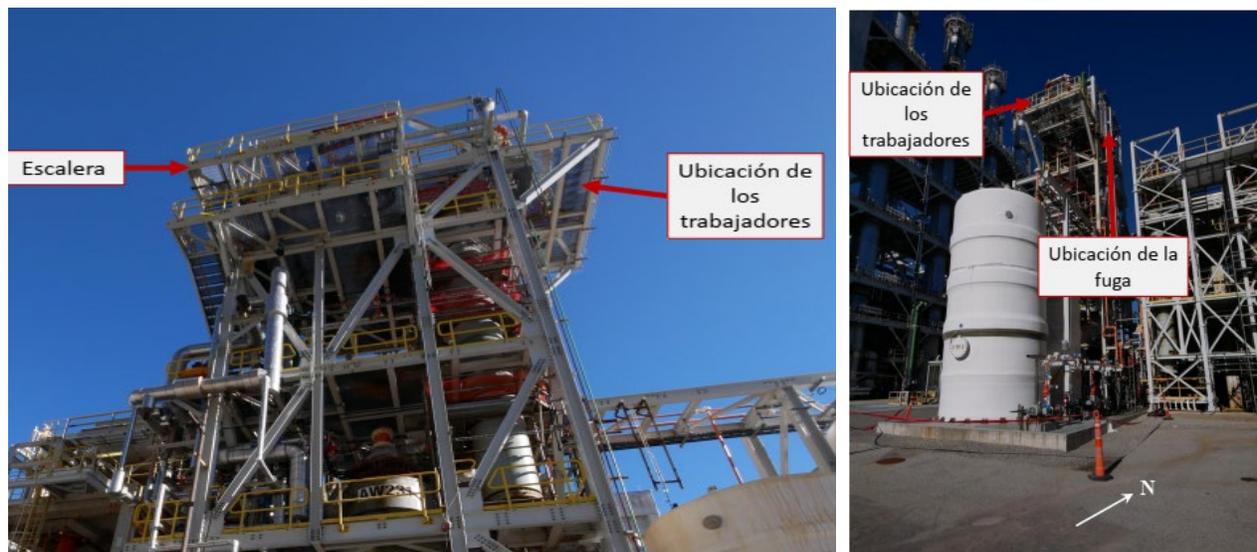


Figura 11. Ubicación de los trabajadores atrapados. Cuando ocurrió el escape, dos empleados de Jake Marshall y cuatro empleados de Pen Gulf estaban trabajando en el extremo sur de la plataforma. La flecha direccional es aproximada. (Crédito: CSB)

3 ANÁLISIS TÉCNICO

Se realizó una prueba de fugas en el intercambiador de calor involucrado en el incidente para determinar la ubicación aproximada de la falla. La prueba identificó una fuga en la boquilla de salida de vapor del intercambiador de calor. La fuga estaba debajo del anillo de acero al carbono que estaba conectado a los pernos azules que el empleado de Jake Marshall estaba revisando (**Figura 12**).

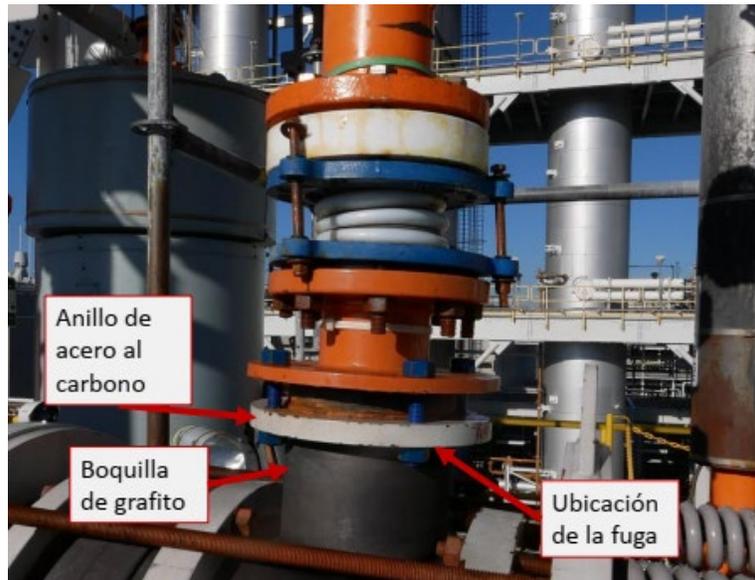


Figura 12. Ubicación de la fuga. Las pruebas de fugas en el intercambiador de calor revelaron una fuga en la boquilla de grafito debajo de un anillo de acero al carbono que se usa para conectar la boquilla a la tubería de acero al carbono. (Crédito: CSB)

Luego del incidente, Wacker encargó pruebas y análisis de fallas de la boquilla de grafito AW234, que incluyeron análisis de laboratorio; pruebas no destructivas (END, por sus siglas en inglés); fractografía; microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés); y pruebas de tracción, flexión y expansión térmica. Se descubrió que la boquilla del intercambiador de calor AW234 de grafito había fallado debido a una fractura circunferencial completa en la brida superior, como se muestra en la **Figura 13**. Las pruebas destructivas indicaron que la fractura de la boquilla era consistente con una sobrecarga frágil. La Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB) concluye que la falla de la boquilla del intercambiador de calor de grafito se debió a que se apretó demasiado los pernos que conectan la boquilla de grafito al equipo revestido con PTFE.

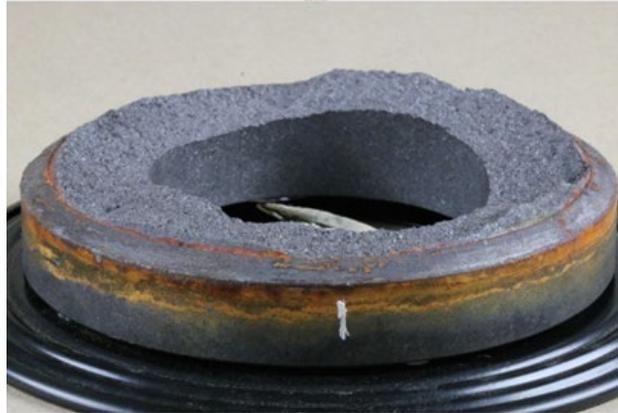


Figura 13. Fractura de boquilla de grafito AW234. (Crédito: Wacker)

Un análisis posterior identificó una posible desalineación radial entre la boquilla del AW234 y la tubería de salida (como se muestra en **Figura 14**). La desalineación podría haber impuesto una carga externa que resultó en tensiones dentro de la boquilla de grafito. Si bien las tensiones de desalineación normalmente se pueden mitigar con la presente junta de expansión, es posible que si se hubiera aplicado un torque suficiente a la conexión bridada para iniciar grietas, las tensiones de desalineación podrían haber proporcionado la fuerza impulsora para completar la fractura de la boquilla.^a



Figura 14. Posible desalineación radial en la tubería de salida AW234. (Crédito: CSB)

^a Si bien la desalineación puede haber exacerbado la fractura, la CSB no consideró que la desalineación de la tubería de salida de vapor fuera la causa de la falla de la boquilla y, por lo tanto, la desalineación de la tubería no se detalla en este informe.

4 PROBLEMAS DE SEGURIDAD

Las siguientes secciones discuten los problemas de seguridad que contribuyeron al incidente, que incluyen:

- procedimientos escritos
- control de energía peligrosa
- operaciones simultáneas (SIMOP)
- medios de salida

4.1 PROCEDIMIENTOS ESCRITOS

4.1.1 REQUISITOS REGULADORES Y DIRECTRICES DE LA INDUSTRIA

La norma PSM y la norma RMP requieren que Wacker implemente procedimientos de mantenimiento [8, 9].^a Las *Directrices para redactar procedimientos operativos y de mantenimiento efectivos* del Centro para la Seguridad de Procesos Químicos (CCPS, por sus siglas en inglés) especifican los elementos de los procedimientos efectivos, que incluyen [11, pp. 57-77]:

- Toda la información necesaria para realizar el trámite está incluida en el trámite o referenciada.
- Los pasos del procedimiento están escritos en oraciones cortas y concisas.
- Los pasos del procedimiento que deben realizarse en una secuencia fija se identifican como tales.
- Los límites o especificaciones de operación o mantenimiento están escritos en términos cuantitativos.
- Los procedimientos deben proporcionar instrucciones para todas las contingencias razonables. Si se utilizan instrucciones de contingencia, la declaración de contingencia precede a la declaración de acción.
- Si se utilizan condiciones o criterios para ayudar al usuario a tomar una decisión o reconocer una condición, las condiciones preceden a la acción.
- Las instrucciones condicionales deben ser fáciles de entender.
- Los gráficos, los diagramas y las tablas en los procedimientos están diseñados para que los valores puedan extraerse e interpretarse con facilidad y precisión.

Además, el CCPS brinda la siguiente consideración para los procedimientos de mantenimiento [11, pp. 55-56]:

^aSección 1910.119(j) del título 29 del CFR, sección 68.73 del título 40 del CFR

Los procedimientos de mantenimiento requieren una consideración especial según el tipo de fuerza de mantenimiento que mantenga su sitio. Si su sitio utiliza personal de mantenimiento con capacitación transversal, es posible que su instalación necesite procedimientos de mantenimiento escritos con un nivel de detalle muy alto. El mayor uso de personal de mantenimiento por contrato en las instalaciones presenta un problema similar.

Hacer referencia a los manuales de los proveedores es una opción que los gerentes de mantenimiento pueden usar para mantener manejable la cantidad de procedimientos, pero implica otro nivel de control de documentos. Si hace referencia a manuales de proveedores en los procedimientos de mantenimiento, su sitio debe poseer estos documentos y asegurarse de que sean accesibles, actualizados y precisos.

Los manuales de los proveedores a menudo no brindan las precauciones, advertencias y el nivel de detalle específicos de la aplicación que su sitio puede necesitar. Los manuales de proveedores generalmente se escriben de manera genérica en términos de la aplicación del proceso y para modelos genéricos de equipos. Es posible que sus procedimientos de mantenimiento deban aumentar esta información para reflejar con precisión las necesidades de su sitio.

4.1.2 INSTRUCCIONES VERBALES

Las instrucciones verbales para la tarea de reajustar el AW234 se comunicaron a través de varios niveles de personal, desde el autorizador de permisos de Wacker hasta el contratista que realizaba la tarea, de la siguiente manera: (1) el autorizador de permisos de Wacker proporcionó instrucciones verbales para la tarea de torqueo del AW234 al supervisor de Jake Marshall, junto con el manual de instalación y operación de tuberías, (2) el supervisor de Jake Marshall proporcionó instrucciones verbales al obrero especializado de Jake Marshall y a los aprendices de instalación de tuberías y (3) el obrero especializado fijó la llave dinamométrica a 40 pies-libras y dio instrucciones verbales al aprendiz de instalador de tuberías de Jake Marshall. La CSB descubrió que ninguna de estas comunicaciones transmitía el requisito de torque de 15 pies-libras para la boquilla del intercambiador de calor de grafito. Según los relatos de las entrevistas, cada persona creía que se estaba comunicando y entendiendo los requisitos de torque correctamente. Sin embargo, la CSB concluye que la confianza de Wacker y Jake Marshall en las instrucciones verbales, comunicadas secuencialmente por tres personas separadas sin un procedimiento detallado específico de la tarea, aumentó la probabilidad de mala comunicación o comprensión de los pasos y precauciones de la tarea.

LECCIÓN CLAVE

El idioma, el lenguaje coloquial y la jerga, cuando no están definidos ni documentados, pueden dar lugar a diferentes interpretaciones de la misma terminología. Es importante que la terminología localizada que se refiere a acciones y tareas en equipos de proceso se defina oficialmente en una política o procedimiento específico del sitio.

La dependencia de las comunicaciones verbales también resultó en que el personal de Wacker usara un lenguaje coloquial inconsistente para “torque en caliente”. Como se detalla en la Sección 1.6, el manual de instalación y operación de tuberías proporciona instrucciones para ejecutar un protocolo para volver a realizar el torqueo de ciclos térmicos de las tuberías de PTFE a PTFE luego del reinicio del equipo de proceso. Con base en entrevistas con los empleados de Wacker y Jake Marshall, algunos miembros del personal usaron el término “torque en caliente” para referirse a un nuevo torque en condiciones de enfriamiento después de un ciclo térmico, como se describe en el manual de instalación y operación de tuberías, mientras que otros usaron el término para referirse a un torque de bridas en condiciones operativas activas.^a Esta segunda definición es más consistente con el PCC-1-2019 *Directrices para el ensamblaje de juntas de brida atornilladas con límite de presión* de la American Society of Mechanical Engineers (ASME), que indica que “torque en caliente” es sinónimo de “nuevo torque de puesta en marcha”, que se define como “apretar todos los pernos de una junta mientras la unidad alcanza la temperatura de funcionamiento en un paso circular hasta que las tuercas dejen de girar. El nuevo torque de puesta en marcha (también conocido como torque en caliente) se realiza para aumentar la tensión operativa residual en la junta (para recuperar la relajación inicial de la junta), para minimizar la probabilidad de fuga” [12, p. 35] (énfasis agregado).

La CSB concluye que el desarrollo de documentación y capacitación que definan diferentes tipos de requisitos de torqueo, como “torqueo en caliente” según corresponda, podría haber ayudado a eliminar el lenguaje coloquial inconsistente en las instalaciones de Wacker. La CSB recomienda que Wacker se asegure de que términos como “torqueo en caliente” estén claramente definidos en una política o procedimiento documentado y que los empleados y contratistas estén capacitados en estos términos.

4.1.3 FALTA DE PROCEDIMIENTO

El manual de tuberías proporcionado a los trabajadores de Jake Marshall no era un procedimiento de mantenimiento; más bien, era un manual de instrucciones del OEM para la instalación y operación de tuberías revestidas. Como se muestra en **Figura 15**, el OEM proporciona rangos de valores de torque recomendados correspondientes a ciertos tipos de conexiones de tuberías, como conexiones de PTFE a PTFE, según el tamaño de la tubería y los pernos utilizados.

Si bien la información en el manual proporciona pautas importantes para aplicar los valores de torque adecuados y los métodos para volver a realizar el torqueo, la información no es específica para el intercambiador de calor AW234 o su tubería conectada, que incluía conexiones de PTFE a grafito que no se trataron en el manual. Más

LECCIÓN CLAVE

Los procedimientos escritos son una herramienta fundamental para garantizar operaciones y actividades de mantenimiento seguras. Los procedimientos consolidan la información requerida para ejecutar una tarea dada en instrucciones paso a paso fáciles de entender, con referencia específica a precauciones de seguridad y acciones cruciales. Se deben preparar procedimientos escritos para operaciones peligrosas como parte de prácticas de trabajo seguras y sólidas, incluidas las actividades de mantenimiento temporales o auxiliares.

^a Al mismo tiempo que se ejecutaba la tarea de torqueo del AW234, a otros trabajadores de Jake Marshall también se les asignó la tarea de “torqueo en frío” del intercambiador de calor AW232, un intercambiador de calor diferente en el piso inferior de la torre. Las instrucciones que Wacker le proporcionó a Jake Marshall para el “torqueo en frío” eran consistentes con el método para volver a realizar el torqueo detallado en el manual de instalación y operación de tuberías.

bien, los requisitos de torque para el intercambiador de calor de grafito estaban contenidos en el dibujo del intercambiador del fabricante, que los trabajadores de Jake Marshall en la estructura no tenían en su poder.

El manual de tuberías y las instrucciones verbales no constituyeron adecuadamente un procedimiento escrito de mantenimiento efectivo para la tarea de torqueo del AW234. La CSB concluye que Wacker no estableció, implementó ni se adhirió a procedimientos de mantenimiento detallados y específicos del trabajo relacionados con las tareas de torqueo en el intercambiador de calor AW234. En cambio, los contratistas de Jake Marshall recibieron instrucciones poco claras e indocumentadas para apretar los pernos del intercambiador de calor. La CSB también concluye que si Wacker hubiera utilizado la información del manual de instalación y diseño de tuberías y el dibujo del intercambiador de calor del fabricante para desarrollar procedimientos de torqueo específicos para la unidad de regeneración del HCl y el intercambiador de calor AW234, es probable que los contratistas hubieran aplicado los valores de torque correctos a las conexiones de PTFE a grafito del intercambiador de calor AW234, lo que habría evitado el incidente. Además, las características de diseño del equipo que requerirían el uso de diferentes herramientas serían consistentes con el concepto de “Prevención a través del Diseño”. El NIOSH define la prevención a través del diseño como “... anticipar y diseñar o eliminar los peligros para la seguridad y la salud en las instalaciones, los métodos de trabajo y las operaciones, los procesos, los equipos, las herramientas, los productos, las nuevas tecnologías y la organización del trabajo” [13]. La CSB recomienda que Wacker actualice sus políticas de mantenimiento para exigir procedimientos de

mantenimiento detallados para las actividades de torqueo que comuniquen claramente las diferentes especificaciones de torque a través de medios visuales.

Sistemas ASME B16.5 Clase 150 – Ligeramente engrasados A193 Gr. Pernos B7 y tuercas A194 2H										
Tamaño de la tubería NPS (DN)	Torque de perno, pie-libra por perno (Nm por perno)									
	PP		PVDF/ETFE		PTFE		PFA			
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1/2 (15)	--	--	--	--	6 (9)	11 (15)	9 (13)	14 (19)		
3/4 (20)	--	--	--	--	9 (13)	16 (22)	14 (19)	20 (28)		
1 (25)	13 (18)	17 (24)	17 (24)	21 (29)	8 (11)	13 (18)	12 (17)	17 (24)		
1 1/2 (40)	31 (43)	41 (56)	41 (56)	50 (68)	19 (26)	31 (43)	28 (38)	41 (56)		
2 (50)	65 (89)	85 (116)	85 (116)	104 (142)	39 (53)	65 (89)	59 (81)	85 (116)		
3 (80)	103 (140)	134 (182)	134 (182)	165 (224)	62 (85)	103 (140)	93 (127)	134 (182)		
4 (100)	67 (91)	88 (120)	88 (120)	108 (147)	40 (55)	67 (91)	61 (83)	88 (120)		
6 (150)	124 (169)	161 (219)	161 (219)	199 (270)	75 (102)	124 (169)	112 (152)	161 (219)		

Sistemas ASME B16.5 Clase 150 – Recubierta de PTFE A193 Gr. Pernos B7 y tuercas A194 2H										
Tamaño de la tubería NPS (DN)	Torque de perno, pie-libra por perno (Nm por perno)									
	PP		PVDF		PTFE		PFA			
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1/2 (15)	--	--	--	--	4 (6)	6 (9)	6 (9)	8 (11)		
3/4 (20)	--	--	--	--	6 (9)	9 (13)	9 (13)	12 (17)		
1 (25)	8 (11)	10 (14)	10 (14)	13 (18)	5 (7)	8 (11)	7 (10)	10 (14)		
1 1/2 (40)	19 (26)	25 (34)	25 (34)	30 (41)	11 (15)	19 (26)	17 (24)	25 (34)		
2 (50)	39 (53)	51 (70)	51 (70)	62 (85)	23 (32)	39 (53)	35 (48)	51 (70)		
3 (80)	62 (85)	80 (109)	80 (109)	99 (135)	37 (51)	62 (85)	56 (76)	80 (109)		
4 (100)	40 (55)	53 (72)	53 (72)	65 (89)	24 (33)	40 (55)	36 (49)	53 (72)		
6 (150)	75 (102)	97 (132)	97 (132)	119 (162)	45 (62)	75 (102)	67 (91)	97 (132)		

Figura 15. Especificaciones para el torque de los pernos del OEM para tuberías revestidas de PTFE para conexiones de tuberías de PTFE a PTFE. (Superior) El cuadro sólido rojo indica los valores mínimos y máximos para los pernos ligeramente engrasados sin recubrimiento para el tamaño de la tubería conectada al intercambiador de calor AW234. (Inferior) El recuadro púrpura discontinuo indica los valores mínimo y máximo para los pernos recubiertos de PTFE para el tamaño de la tubería conectada al intercambiador de calor AW234. (Crédito: manual de diseño del OEM, Traducido al español por Latitude Prime)

4.2 CONTROL DE ENERGÍA PELIGROSA

Wacker gestionó el control de energía química peligrosa a través de procedimientos denominados *Lock, Tag and Try* y *First Line Break – Return to Service*. Los procedimientos presentan precauciones y requisitos para realizar trabajos en equipos que contienen energía química peligrosa, incluido el desarrollo de un plan de aislamiento de energía, métodos para el aislamiento de energía, requisitos de PPE, restricciones de personal y barricadas.

Si bien las actividades de torqueo pueden implicar trabajo en equipos que contienen productos químicos peligrosos, Wacker no define ni trata tales actividades como roturas de línea, que define como una actividad en la que se abre el equipo de proceso para prepararlo para el mantenimiento o la reparación. Además, el permiso de trabajo seguro emitido a Jake Marshall para realizar las actividades de torqueo en caliente no consideró las

precauciones de control de energía peligrosa, como se muestra en **Figura 16**, ya que no implicó la apertura intencional de una línea.^a

El extracto del formulario muestra los campos 'LOCK, TAG and TRY (LOTO)' y 'FIRST LINE BREAK' con 'N/A' seleccionado. El formulario incluye instrucciones en español y español bilingüe sobre procedimientos de seguridad, como el uso de candados, etiquetado y desenergización de equipos.

Figura 16. Extracto del permiso de trabajo seguro para aplicar torque en caliente al intercambiador de calor AW234 con Lock, Tag and Try y First Line Break marcados como “N/A” (No aplicable). (Crédito: Wacker, anotaciones de la CSB, Traducido al español por Latitude Prime)

La norma Z244.1-2016 (R2020) *El control de energía peligrosa Bloqueo, etiquetado y métodos alternativos* del Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI, por sus siglas en inglés)/American Society of Safety Professionals (ASSP) proporciona requisitos para el control de energía peligrosa y cubre actividades como reparar, ajustar, solucionar problemas, inspeccionar y mantener equipos o procesos en los que el escape inesperada de energía almacenada o las acciones de las personas podrían provocar daños [14, p. 15]. La norma establece que “el control de energía peligrosa incluye el aislamiento, la desenergización y la verificación, y deberá tener en cuenta los impactos de la energía residual [14, p. 29]”. Cuando no se utilizan métodos de aislamiento de energía, la norma requiere que los usuarios demuestren que un método alternativo brindará una protección efectiva después de evaluar los peligros y documentar los riesgos a través de una evaluación de riesgos^b [14, p. 39].

Además, las *Directrices de ASME PCC-1-2019 para el ensamblaje de juntas de brida atornilladas con límite de presión* establecen que “[un] análisis de ingeniería y riesgo de la operación propuesta [torque en caliente] se llevará a cabo para establecer que la operación se puede realizar de manera segura”. [12, p. 9].

La CSB concluye que Wacker no realizó un análisis de riesgo para determinar si la tarea de torque en caliente se podía realizar de manera segura en el equipo operativo, ni implementó precauciones para mitigar el riesgo de apretar los pernos en el equipo operativo antes de emitir un permiso de trabajo seguro para los trabajadores de Jake Marshall. Si Wacker hubiera implementado las mismas precauciones tomadas como parte de una ruptura de

^a El procedimiento de permiso de trabajo seguro de Wacker no requería que el preparador del permiso de trabajo, la autoridad de aprobación o el equipo de trabajo realizaran una evaluación de riesgos, excepto en el caso de excepciones que no requieren un permiso de trabajo seguro. Independientemente, antes de realizar la tarea de torque, Jake Marshall realizó una evaluación de peligros basada en una lista de verificación que identificó el peligro de trabajar cerca de productos químicos y requirió botas químicas, trajes químicos y protección respiratoria. La evaluación de peligros también identificó la necesidad de barricadas; sin embargo, esto fue una medida de precaución para proteger a los trabajadores de los niveles inferiores de los peligros superiores, como la caída de herramientas, y no para restringir el acceso al quinto piso. Como se describe en la Sección 2, es posible que los trabajadores de Pen Gulf ya estuvieran presentes en el quinto piso cuando llegaron los trabajadores de Jake Marshall. La evaluación de peligros no consideró el aislamiento de energía peligrosa. La CSB señala que las evaluaciones de peligros basadas en listas de verificación se relacionan con la seguridad personal del trabajador y no con la seguridad del proceso.

^b ANSI/ASSP Z244.1-2016 (R2020) proporciona métodos para completar una evaluación de riesgos. La norma establece: “La parte crítica de la evaluación de riesgos es asegurarse de que los peligros y los modos de falla se conozcan antes de usar el método alternativo... Se debe realizar una evaluación de riesgos para asegurarse de que las tareas y los peligros se identifiquen, comprendan y aborden para reducir los riesgos a un nivel aceptable” [14, p. 46]. (Traducido al español por Latitude Prime)

primera línea, es decir, métodos de aislamiento de energía, requisitos de PPE, restricciones de personal y barricadas, es probable que se hubieran podido evitar las lesiones de los trabajadores de Pen Gulf.

La CSB recomienda que Wacker desarrolle requisitos de política para garantizar que las actividades de torqueo realizadas en equipos que contienen energía peligrosa se realicen de manera segura, como mediante la eliminación del inventario de equipos o la restricción del personal no esencial y asegurando que los trabajadores esenciales usen el PPE adecuado. Documentar estos requisitos en procedimientos, como *Lock, Tag and Try; First Line Break – Return to Service* u otros procedimientos según corresponda.

Además, la CSB recomienda que Wacker incluya requisitos de procedimiento para todas las actividades de torqueo realizadas en equipos que contengan materiales peligrosos para realizar un análisis de ingeniería y riesgo e implementar medidas de seguridad como resultado del análisis de riesgo, según las *Directrices de ASME PCC-1-2019 para el ensamblaje de juntas de brida atornilladas con límite de presión* y *ANSI/ASSP Z244.1-2016 El control de energía peligrosa Bloqueo, etiquetado y métodos alternativos*.

4.3 OPERACIONES SIMULTÁNEAS (SIMOP)

Las SIMOP ocurren cuando dos o más operaciones se realizan juntas en un momento y lugar, y pueden interferir entre sí, aumentar el riesgo de cualquiera de las actividades o introducir nuevos riesgos para una o más de las operaciones [15]. Como se describe a continuación, aunque Wacker tenía prácticas de trabajo que *podrían haber* identificado las SIMOP y los peligros asociados, estas prácticas de trabajo no estaban diseñadas para evaluar formalmente las SIMOP y, como resultado, no identificaron las SIMOP y el potencial de un mayor riesgo para el equipo de trabajo de Pen Gulf el día del incidente.

4.3.1 PRÁCTICAS LABORALES DE WACKER

4.3.1.1 Proceso de permisos de trabajo seguro

Wacker documenta su proceso de permisos de trabajo en un Procedimiento Operativo Estándar (SOP, por sus siglas en inglés) titulado *Permiso de trabajo seguro*. Wacker define el alcance del procedimiento como “...actividades y condiciones relacionadas con actividades laborales peligrosas, trabajos mecánicos (incluye trabajos eléctricos, de construcción, etc.), trabajos de mantenimiento, reparación o construcción realizados por personal o contratistas de Wacker”.

El SOP del *Permiso de trabajo seguro* asigna a los “Representantes del Departamento Propietario” la responsabilidad de revisar todos los permisos de trabajo seguro para su departamento y verificar que se hayan considerado todos los peligros y las precauciones de seguridad. Estas revisiones generalmente se realizan en las

LECCIÓN CLAVE

Se debe considerar el control de energía peligrosa siempre que se repare, ajuste, inspeccione y mantenga un equipo que contenga energía peligrosa, no solo en situaciones en las que el equipo se abra intencionalmente. Antes de trabajar en equipos que contienen energía peligrosa, siempre se debe realizar una evaluación de riesgos para evaluar la necesidad de aislamiento de energía u otras medidas de protección.

oficinas propias. El SOP del *Permiso de trabajo seguro* luego asigna tareas adicionales a una segunda persona, el autorizador de permisos, que, en algunas situaciones, podría identificar las SIMOP y prevenir interacciones peligrosas, incluidas las siguientes:

1. “Inspeccionar el área de trabajo personalmente, para asegurarse de que las condiciones sean seguras para el trabajo a realizar” y “Notificar al personal apropiado que trabaja en el área sobre el trabajo que se realizará bajo el permiso, antes de permitir que comience ese trabajo” y
2. “Publicar una copia de... el Permiso de Trabajo Seguro en el Centro de Control... como herramienta de comunicación”.

La CSB encontró, sin embargo, que estas precauciones no impidieron ni controlaron las SIMOP en el quinto piso de la estructura de acceso al equipo el día del incidente, como se describe a continuación.

Falta de identificación de las SIMOP durante la inspección del lugar de trabajo del autorizador de permisos

El 10 de noviembre de 2020, el Representante del Departamento Propietario de Wacker firmó el permiso de trabajo seguro para el trabajo de reaslamiento de Pen Gulf. Este permiso estaba programado para durar tres días y vencía el 13 de noviembre de 2020 (el día del incidente). La revisión del Representante del Departamento Propietario se limitó a garantizar que los peligros y las precauciones asociadas para la tarea de aislamiento se evaluaron correctamente. El 13 de noviembre de 2020, el mismo Representante del Departamento Propietario firmó el permiso de trabajo seguro para la tarea de reajustar el intercambiador de calor AW234 de Jake Marshall. Una vez más, su revisión se limitó a garantizar que se consideraran los peligros y las precauciones asociadas específicas a la tarea de volver a realizar el torqueo. Aunque firmó, y por lo tanto conocía, ambos permisos de trabajo seguro para ambos trabajos, el Representante del Departamento Propietario no consideró en su revisión ninguna SIMOP.

Según el SOP del *Permiso de trabajo seguro* de Wacker, la mejor oportunidad para identificar las SIMOP fue durante la inspección del lugar de trabajo del autorizador de permisos. Sin embargo, cuando el autorizador de permisos de Wacker “inspeccion[ó] el área de trabajo personalmente, para asegurarse de que las condiciones son seguras para el trabajo a realizar” y debía “notificar al personal apropiado que trabaja en el área sobre el trabajo que se realizará bajo el permiso”, el equipo de trabajo de Pen Gulf aún no había llegado a la plataforma del quinto piso. Como tal, el autorizador de permisos no se dio cuenta de que existía la posibilidad de que la tarea de trabajo de Jake Marshall impactara peligrosamente a otro equipo de trabajo. Como describió el Representante del Departamento Propietario de Wacker:

[El autorizador de permisos para la tarea de reaslamiento de Jake Marshall] desactivó el sistema y creo que justo en el momento, [él y el autorizador de permisos para la tarea de reaslamiento de Pen Gulf] perdieron contacto. Porque una vez, ya sabes, que llegan las 8:00, 8:30, [8]:40, sea la hora que sea, están reuniendo sus herramientas para subir y hacer el trabajo.

Otro autorizador de permisos de Wacker revisó el área de trabajo de Pen Gulf la mañana del incidente antes de que se llevara a cabo el trabajo de Pen Gulf. Durante su recorrido, no se encontró con el autorizador de permisos para el trabajo de Jake Marshall ni con el propio equipo de Jake Marshall. Como el autorizador de permisos de Wacker que supervisa el trabajo de Pen Gulf describió a la CSB:

Bueno, cuando autoricé este permiso [Pen Gulf] no se estaba haciendo nada [de Jake Marshall]. Cuando yo estaba allí nada de esto estaba pasando. No había nadie más [en la estructura] trabajando cuando entré con [Pen Gulf].

Error al identificar las SIMOP desde el Centro de control

El SOP del *Permiso de trabajo seguro* requería que el autorizador de permisos “publicara una copia del... Permiso de trabajo seguro en el Centro de Control... como una herramienta de comunicación”. El tablero de permisos del Centro de Control permitió que los operadores de la sala de control y otras personas que no estaban involucradas en las actividades permitidas del día entendieran el trabajo que se ejecutaba en las instalaciones. Como lo describió un autorizador de permisos de Wacker:

[La junta de permisos es] para mostrar qué trabajo se está haciendo allí. Y si, muchas veces, estamos en la sala de control, no sabemos exactamente qué está pasando allí [...]. [...] Pero si lo necesitamos, si tenemos a alguien que quiere caminar a través de la integridad mecánica, por ejemplo... Bueno, déjame ver el tablero y ver qué trabajo se está realizando en este momento. Y bueno, veo que se está haciendo este trabajo y hay un primer descanso de por medio. Tal vez debería esperar hasta que el trabajo esté terminado.

Sin embargo, este incidente ocurrió durante la pandemia de COVID-19 y Wacker había implementado prácticas para reducir el personal en áreas de hacinamiento. Para limitar la circulación de personas en la sala de control, Wacker comenzó a permitir algunas tareas en la oficina del gerente de área y se colocaron copias de esos permisos en el escritorio del gerente de área. Según esta práctica, algunos permisos se publicaron en la sala de control y otros permisos se colocaron en el escritorio del gerente de área (**Figura 17**), y no había un sistema de seguimiento organizado para que los empleados de Wacker encontraran qué permisos estaban en qué ubicación. Si bien la CSB no pudo determinar dónde se exhibieron los permisos de trabajo seguro de Pen Gulf y Jake Marshall antes del incidente, este nuevo método de publicación de permisos algo desorganizado en respuesta a la pandemia de COVID-19 puede haber contribuido a que los autorizadores de permisos no se dieran cuenta de que dos las cuadrillas estaban programadas para trabajar en la plataforma del quinto piso el día del incidente.

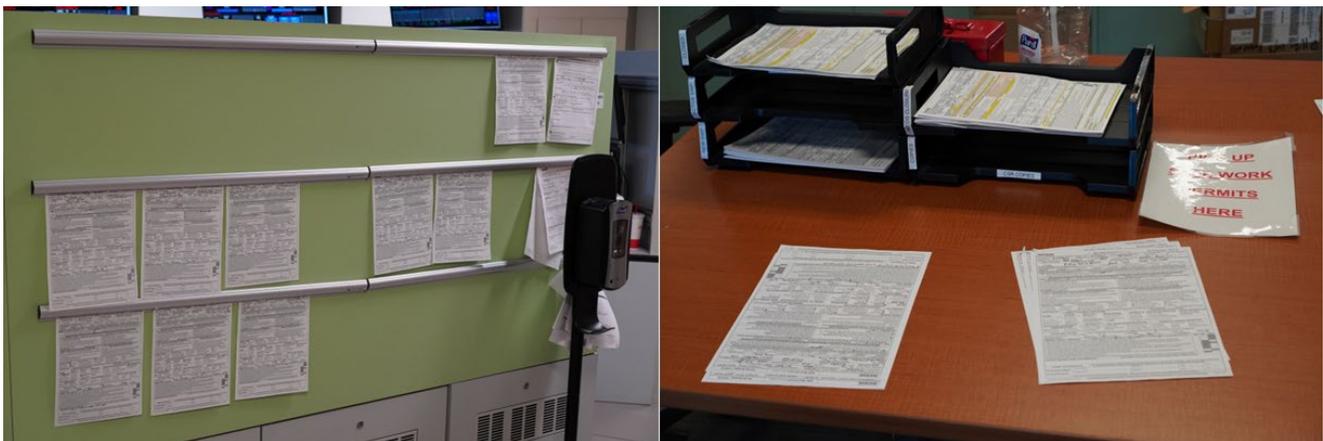


Figura 17. Permisos de trabajo activos publicados en un tablero en la sala de control (izquierda). Permisos de trabajo sobre una mesa en la oficina del jefe de área (derecha). (Crédito: CSB)

4.3.1.2 Prácticas de operaciones simultáneas de Wacker

No era raro que varios equipos de trabajo trabajaran simultáneamente en Wacker. Por ejemplo, durante trabajos anteriores, Wacker a menudo otorgaba permisos de trabajo seguro a Pen Gulf en áreas de trabajo donde trabajaban otros equipos de trabajo. La CSB identificó las siguientes condiciones que contribuyeron a que Wacker no identificara ni controlara las SIMOP de Jake Marshall y Pen Gulf el día del incidente:

- Wacker no tenía una política o un procedimiento de SIMOP y, por lo tanto, no tenía una práctica definida para identificar y controlar las SIMOP.
- La cultura de gestión del mantenimiento de Wacker a menudo permitía la ubicación conjunta de varios equipos de trabajo no relacionados que respaldaban las tareas de mantenimiento o los esfuerzos de respuesta.
- El proceso de permiso de trabajo seguro de Wacker no requería explícitamente consideraciones de las SIMOP y se basó en el conocimiento y las decisiones de los especialistas autorizados para firmar y emitir los permisos de trabajo a los equipos de trabajo.
- La práctica de permisos de Wacker permitió que cualquier especialista disponible actuara como firmante autorizado de un permiso de trabajo, independientemente de su familiaridad con el trabajo u otras actividades planificadas en el mismo lugar. Por ejemplo, los especialistas de Wacker que estaban autorizados para emitir permisos de trabajo no tenían conocimiento de otros trabajos en curso en el mismo lugar. Además, las restricciones por el COVID-19 de Wacker dificultaron la publicación y revisión de los permisos de trabajo activos para un área determinada, lo que resultó en más oportunidades perdidas para identificar las SIMOP.
- Existen pautas técnicas, normas de la industria o regulaciones publicadas y disponibles públicamente que describen los pasos en un ciclo de vida de las SIMOP y la ejecución de una revisión de las SIMOP, análisis de peligros y evaluación de riesgos específicos para procesos químicos de fuente estacionaria. Por lo tanto, Wacker carecía del conocimiento adecuado de la industria necesario para implementar un programa de SIMOP exitoso. Se puede encontrar más información sobre las directrices disponibles públicamente sobre las SIMOP en la Sección 4.3.2 a continuación.

LECCIÓN CLAVE

Los propietarios y operadores siempre deben considerar cómo las operaciones simultáneas, o las SIMOP, podrían afectar una operación determinada, ya sea influyendo en un peligro o afectando el riesgo de la operación. Las SIMOP deben identificarse y controlarse mediante una evaluación de peligros antes de comenzar una operación o tarea determinada. Un sistema establecido para administrar los permisos de trabajo también puede identificar los riesgos asociados con las SIMOP antes de que ocurran. Un sistema bien establecido debe ser capaz de documentar la tarea específica que se ejecutará, coordinar fácilmente los permisos emitidos e identificar escenarios de interacción potencial entre los grupos de trabajo autorizados.

La CSB concluye que Wacker carecía de un proceso de SIMOP formalizado, no identificó correctamente los peligros introducidos por el trabajo permitido en el mismo lugar y usó un proceso de permisos de trabajo seguro e ineficaz, lo que resultó en el uso compartido de los equipos de trabajo de Jake Marshall y Pen Gulf durante el torqueado en caliente y trabajos de aislamiento en el quinto piso de la estructura de acceso a equipos. En consecuencia, los trabajadores de Pen Gulf no estaban conscientes de los peligros y no pudieron tomar precauciones, como retrasar la tarea de reislamiento o ponerse el PPE de protección química, y como resultado estuvieron expuestos innecesariamente a los peligros de la tarea de torqueo en caliente.

La CSB recomienda que Wacker desarrolle e implemente un programa formalizado de SIMOP que aborde las tareas de trabajo en el mismo lugar planificadas y permitidas que aborde:

- identificación de SIMOP potenciales;
- identificación de posibles interacciones peligrosas;
- evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir SIMOP seguras;
- coordinación, incluyendo métodos de comunicación compartidos, entre las SIMOP; e
- inclusión del personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las SIMOP.

4.3.2 NORMAS Y DIRECTRICES DE LAS SIMOP

Las directrices de la industria relacionada directamente con las prácticas para reconocer y controlar las SIMOP se ha restringido en gran medida al procesamiento en alta mar, como la perforación de petróleo y gas, en respuesta al desastre de Piper Alpha en 1988^{a,b} [16, p. 6]. En el momento de la publicación de este informe, la CSB no pudo identificar códigos, normas o reglamentos específicamente relacionados con la identificación y el control de las SIMOP para actividades de mantenimiento realizadas en procesos químicos de fuente estacionaria. Las subsecciones a continuación presentan una descripción general de las directrices y los reglamentos de las SIMOP actualmente disponibles (internacionales y de los Estados Unidos) identificadas por la CSB.

^a El 6 de julio de 1988, una explosión en la plataforma marina Piper Alpha en el Mar del Norte provocó 167 muertes y la pérdida de la plataforma. La falla de una bomba de condensado provocó que una bomba de reserva volviera a funcionar mientras estaba fuera de línea para mantenimiento. Se había quitado la válvula de alivio que protegía la bomba de reserva. El condensado y el gas escaparon y se encendieron, provocando una cadena de incendios y explosiones en la plataforma. Los buzos estaban realizando tareas de mantenimiento en las estructuras de soporte de la plataforma cerca de las entradas de la bomba contra incendios, por lo que se deshabilitó la protección contra incendios para proteger a los buzos. Una vez finalizado el trabajo de buceo, no se restableció el sistema de extinción automática de fuego tipo diluvio. La propagación del fuego impidió que los miembros de la tripulación activaran los controles de las bombas locales, lo que aumentó la gravedad del incidente [39, pp. 44-45].

^b El Health and Safety Executive (HSE) (Ejecutivo de Salud y Seguridad) del Reino Unido identificó problemas relacionados con las SIMOP en el sistema de permisos de trabajo de Piper Alpha, incluida la falta de permisos de referencia cruzada, desviación de los procedimientos, falta de exhibición de permisos, permisos guardados en varias ubicaciones y falta de comunicación entre los equipos de trabajo [16].

4.3.2.1 Directrices internacionales

International Marine Contractors Association (IMCA)

La IMCA es una asociación comercial internacional que promueve mejoras en la calidad, la salud, la seguridad, el medioambiente y las normas técnicas en los campos de la ingeniería submarina, marina y en alta mar [17]. La publicación de la IMCA denominada *Directrices sobre operaciones simultáneas (SIMOPS)* proporciona directrices de la industria para un ciclo de vida de las SIMOP, que incluye lo siguiente [17, p. 3]:

- identificación de las SIMOP
- reunión de lanzamiento que identifica el alcance del trabajo
- preparación de los expedientes específicos de trabajo de cada una de las partes
- revisión de evaluación de las SIMOP
- desarrollo del documento de interfaz de las SIMOP
- preparación para las SIMOP
- realización de las SIMOP
- cambio/desviación
- cierre

Health and Safety Executive (HSE) del Reino Unido (R.U.)

El HSE del Reino Unido es el ente regulador de Gran Bretaña para la salud y la seguridad en el lugar de trabajo[18]. Las *Directrices para los sistemas de permiso de trabajo* del HSE proporcionan directrices para garantizar que las SIMOP se aborden como parte de las prácticas laborales seguras[16]:

Las características esenciales de los sistemas de permisos de trabajo son [...] la identificación clara y normalizada de las tareas, las evaluaciones de riesgos, la duración permitida de las tareas y las medidas complementarias o simultáneas de actividad y control [16, p. 7]. (Traducido al español por Latitude Prime)

Un sistema de permisos para trabajar tiene como objetivo garantizar que se tengan debidamente en cuenta los riesgos de un trabajo en particular o actividades simultáneas en un sitio. Ya sea que se genere de forma manual o electrónica, el permiso es un documento detallado que autoriza a determinadas personas a realizar un trabajo específico en un lugar específico en un momento determinado y que establece las principales precauciones necesarias para realizar el trabajo de manera segura [16, p. 7]. (Traducido al español por Latitude Prime)

Los sitios e instalaciones deben prestar especial atención al sistema de permiso de trabajo durante las operaciones combinadas o simultáneas para garantizar que

el trabajo realizado no comprometa la seguridad, por ejemplo, por una unidad móvil de perforación o una embarcación de apoyo. Las operaciones combinadas pueden requerir la interfaz de los sistemas electrónicos de permisos de trabajo con los sistemas basados en papel para permitir que los permisos sean transmitidos o autorizados por sitios remotos [16, p. 10]. (Traducido al español por Latitude Prime)

Es indispensable que se designe una persona competente [...] para coordinar y controlar la emisión y devolución de los permisos. Esa persona debe tener una visión general de todas las operaciones en curso y planificadas en el sitio para evitar peligros causados por actividades simultáneas. El director de la obra o de la instalación normalmente es responsable de garantizar esta coordinación y control, ya sea controlando la emisión y devolución de los permisos por sí mismo [...], o designando a una persona (o personas) responsable apropiada con suficiente autoridad para llevar a cabo esta función en su nombre[16, p. 18]. (Traducido al español por Latitude Prime)

Departamento de Minas, Regulación y Seguridad de la Industria del Gobierno de Australia Occidental

El documento *Instalación de seguridad y peligros mayores del petróleo: guía, documentos de conexión y operaciones simultáneas (SIMOPS)* del Departamento de Minas, Regulación y Seguridad de la Industria del Gobierno de Australia Occidental proporciona información sobre los requisitos de la legislación y detalles de buenas prácticas en las SIMOP para instalaciones peligrosas terrestres y mar adentro en Australia Occidental [19]. La guía proporciona la siguiente información:

- Un proyecto de las SIMOP debe definirse claramente lo antes posible. Los operadores deben identificar y concertar una consulta temprana con todos los miembros de un proyecto de las SIMOP, incluidos los operadores de las instalaciones involucradas, los contratistas y los proveedores de servicios [19, p. 4].
- La documentación de las SIMOP, también llamada documentos de conexión, combina varios casos de seguridad en un solo plan de gestión de seguridad de las SIMOP. Los operadores de las instalaciones deben contar con un sistema para gestionar la revisión y actualización de los documentos de conexión en el curso de las SIMOP [19, p. 4].
- El equipo del proyecto de las SIMOP debe estar integrado por miembros experimentados que puedan participar en la identificación de peligros y evaluaciones de riesgos para las SIMOP. Los resultados de la identificación de peligros y las evaluaciones de riesgos se incluirán en el documento de conexión[19, p. 4].
- Se debe desarrollar un plan de respuesta de emergencia específico para el proyecto que identifique las diversas partes de las SIMOP, contenga ejemplos de escenarios de emergencia que pueden ocurrir durante el proyecto, especifique el equipo de respuesta de emergencia disponible para el proyecto y dónde se encuentra, e identifique las rutas de evacuación y puntos de reunión para el personal del proyecto, incluidas las rutas alternativas disponibles [19, p. 11].

4.3.2.2 Directrices para para el procesamiento químico de EE. UU.

Directrices reguladoras de la OSHA

Las directrices reguladoras de la OSHA sobre las SIMOP se limita al trabajo realizado dentro de espacios confinados.^{a,b} No existen otros requisitos de la OSHA para considerar las SIMOP para actividades de mantenimiento realizadas en procesos químicos.

Artículo de progreso de seguridad de procesos

El Instituto Estadounidense de Ingenieros Químicos (AIChE, por sus siglas en inglés) publica una publicación periódica trimestral titulada *Process Safety Progress*. En la edición de marzo de 2017, la AIChE publicó un artículo titulado “Revisión de Operación Simultánea (SIMOP): una importante herramienta de análisis de peligros [15]”. El autor define las SIMOP como:

...situaciones donde dos o más operaciones o actividades ocurren juntas en tiempo y lugar. Pueden interferir o chocar entre sí y aumentar los riesgos de las actividades o crear nuevos riesgos que resulten en eventos no deseados... con impactos adversos en... la seguridad del proceso. Las SIMOP a menudo involucran el trabajo en la misma área por parte de múltiples... trabajadores cuyo trabajo puede superponerse o interactuar. (Traducido al español por Latitude Prime)

El autor describe un proceso de seis pasos para analizar las SIMOP [15, pp. 64-65]:

1. identificar posibles SIMOP
2. recolectar información sobre esas actividades
3. identificar interacciones
4. identificar consecuencias
5. identificar las salvaguardas existentes
6. identificar los controles de riesgo faltantes

^aEl artículo 1910.146(d)(11) del título 29 del CFR establece: “Desarrollar e implementar procedimientos para coordinar las operaciones de entrada cuando los empleados de más de un empleador estén trabajando simultáneamente como entrantes autorizados en un espacio que requiere permiso, de modo que los empleados de un empleador no pongan en peligro a los empleados de ningún otro empleador”.

^bEl artículo 1926.1204(k) del título 29 del CFR establece: “Desarrollar e implementar procedimientos para coordinar las operaciones de entrada, en consulta con el contratista de control, cuando los empleados de más de un empleador estén trabajando simultáneamente en un espacio que requiere permiso o en otro lugar del área de trabajo donde sus actividades podrían, ya sea solas o en conjunto con las actividades dentro un espacio que requiere permiso, resultar previsiblemente en un peligro dentro del espacio confinado, de modo que los empleados de un empleador no pongan en peligro a los empleados de ningún otro empleador”.

Recurso del sitio web del Centro para la Seguridad de Procesos Químicos

El CCPS mantiene un recurso en el sitio web para prácticas laborales seguras aplicables a las industrias de procesos [20]. El CCPS proporciona pautas para identificar posibles peligros y consecuencias, estrategias y prácticas para gestionar y mitigar los peligros y prácticas comunes para varias prácticas laborales seguras, incluida la revisión de campo de los permisos y la apertura de líneas [20]. El CCPS proporciona las siguientes directrices con respecto a la revisión de campo de los permisos:

- Las instalaciones deben mantener una sensación de vulnerabilidad al hacer la pregunta: “¿Existen sistemas que proporcionen tiempo suficiente para que los roles de permisos identifiquen los peligros específicos de la tarea y la ubicación, y consideren otros trabajos en curso u operaciones simultáneas (SIMOPS) en curso en el área?” [21] (Traducido al español por Latitude Prime)
- Las inspecciones de campo previas a la autorización del permiso deben confirmar que no hay SIMOP planeadas alrededor de la ubicación del trabajo durante la ejecución del permiso de trabajo seguro [22].
- Una autoridad de área designada, como un supervisor de turno, debe ser responsable de realizar una inspección de campo inicial del área, identificar y asegurarse de que se tomen precauciones antes de permitir, revisando dónde puede haber un impacto de las SIMOP y garantizar que las condiciones de campo sean seguras antes de emitir un permiso [23].
- “La condición de los procesos de la planta en curso y otras actividades cercanas deben tenerse en cuenta al programar el trabajo. Una buena práctica es tener una matriz de operaciones simultáneas permitidas o ‘SimOps’ y aquellas que están prohibidas”. [24] (Traducido al español por Latitude Prime)

Plant Design and Operations

Plant Design and Operations (Diseño y operaciones de la planta) del autor de seguridad de procesos Ian Sutton es un libro de referencia recopilado sobre mejores prácticas de operaciones y mantenimiento seguras para instalaciones en alta mar, plantas químicas, refinerías de petróleo y oleoductos [25]. El libro presenta las siguientes prácticas recomendadas para administrar las SIMOP [25, pp. 289-292]:

- “Los diversos grupos que realizan operaciones normales, mantenimiento y trabajos de construcción en un lugar deben estar al tanto de la existencia de los demás y de lo que están haciendo. Por lo tanto, debe haber una persona que esté al tanto de todas las actividades que se llevan a cabo en la instalación y que tenga la autoridad para cambiar o detener esas actividades. A veces se hace referencia a esta persona como la persona a cargo... el [encargado] nombrará un coordinador de SIMOP”. (Traducido al español por Latitude Prime)
- “El coordinador de SIMOP necesita aprender de cada uno de los grupos que hacen el [...] trabajo [...] los diferentes tipos de análisis de peligros que se han llevado a cabo, y las recomendaciones y acciones de cada uno, [...] identificación de rutas de escape, [y] [c]omunicaciones entre los líderes de trabajo, los demás grupos de trabajo y el coordinador de las SIMOP”. (Traducido al español por Latitude Prime)
- “Una vez que se hayan identificado las diversas actividades de las SIMOP, se debe organizar una reunión inicial para que las distintas actividades de trabajo puedan ser discutidas por las partes afectadas

para comprender cómo pueden afectarse entre sí”. (Traducido al español por Latitude Prime) La reunión debe:

- resumir el trabajo a realizar paso a paso.
- identificar todas las actividades de las SIMOP.
- identificar las limitaciones que afectan a cada actividad.
- asegurar la preparación de estrategias de respuesta a emergencias y rutas de escape.

4.3.2.3 Otros incidentes relacionados con problemas de las SIMOP

La CSB ha investigado al menos otros cinco incidentes relacionados con las SIMOP, todos los cuales provocaron lesiones o muertes de personas que no estaban involucradas en el evento que inició el incidente, como se detalla en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Otros incidentes investigados por la CSB relacionados con problemas de las SIMOP.

Título del incidente	Fecha del incidente	Aplicabilidad de las SIMOP	Gravedad
Incendio durante trabajo en caliente en Evergreen Packaging Paper Mill [26]	21 de septiembre de 2020	Dos empresas contratistas estaban realizando trabajos de mantenimiento simultáneos dentro de dos recipientes de proceso conectados en la unidad de blanqueo de pulpa cuando una pistola de calor encendió resina inflamable y provocó un incendio. El equipo de trabajo que usó la pistola de aire caliente no advirtió ni comunicó su uso al otro equipo de trabajo.	2 muertes
Emisión de etileno e incendio en Kuraray America, Inc. Planta EVAL [27]	19 de mayo de 2018	Se encendió un escape de etileno de un sistema de alivio de presión, hiriendo a 23 trabajadores durante la puesta en marcha del proceso. Ninguno de los trabajadores contratados cerca del sistema de alivio de presión era esencial para la puesta en marcha, ni estaban respondiendo a las condiciones alteradas del proceso que condujeron al escape de emergencia. El trabajo de soldadura que estaban realizando probablemente suministró la fuente de ignición que creó el fuego.	23 heridos

Título del incidente	Fecha del incidente	Aplicabilidad de las SIMOP	Gravedad
Colapso del tanque de fertilizante de Allied Terminals [28]	11 de noviembre de 2008	Un tanque de fertilizante líquido de dos millones de galones falló catastróficamente, hiriendo gravemente a dos trabajadores, inundando un vecindario residencial adyacente y liberando al menos 200,000 galones de fertilizante líquido no recuperado al medio ambiente. Durante el llenado del tanque, un soldador y su ayudante estaban sellando remaches con fugas en el tanque. La pared del tanque que se derrumbó hirió al soldador y a su ayudante.	2 heridos; 200,000 galones de fertilizante líquido liberados al ambiente
Explosión en refinería de BP America (ciudad de Texas) [29]	23 de marzo de 2005	Durante la puesta en marcha, se sobrellenó una torre de destilación, dando origen el escape de líquidos inflamables, lo que provocó una explosión cerca de los remolques de oficinas que albergaban a trabajadores que no participaban en la puesta en marcha.	15 muertes 180 heridos
Georgia-Pacific Corp. Envenenamiento por sulfuro de hidrógeno [30]	16 de enero de 2002	El gas de sulfuro de hidrógeno se filtró de una tapa de alcantarillado, causando lesiones a ocho personas y lesionando fatalmente a dos trabajadores contratados. Los contratistas estaban trabajando en un proyecto de construcción cerca de una estación de descarga de camiones cisterna que contenía hidrosulfuro de sodio derramado. Para despejar el área para los trabajadores, el hidrosulfuro de sodio se drenó a la alcantarilla de ácidos. Mientras los trabajadores de la construcción trabajaban, se agregó ácido sulfúrico al alcantarillado ácido para controlar el pH, que reaccionó con el hidrosulfuro de sodio para formar sulfuro de hidrógeno, que se filtró por la tapa de acceso del alcantarillado en presencia de los trabajadores contratados.	2 muertes 8 heridos

4.3.2.4 Conclusiones de las normas de la industria

La CSB concluye que, si bien existen algunas directrices publicadas de varios sectores sobre las SIMOP, existen directrices reguladoras y de la industria limitadas sobre las consideraciones adecuadas de las SIMOP para las instalaciones de procesos químicos y otras fuentes estacionarias en los Estados Unidos. La CSB también concluye que si bien el recurso actual del sitio web del CCPS sobre las SIMOP es un comienzo beneficioso para animar a las instalaciones a considerar las SIMOP al permitir el trabajo, se necesita orientación práctica adicional, como en un libro o publicación monográfica de las *Directrices* del CCPS, para ayudar a las instalaciones a desarrollar programas de evaluación de las SIMOP. Una publicación de este tipo, que describa los pasos del ciclo de vida de una SIMOP, incluida la revisión, el análisis de peligros y la evaluación de riesgos específicos de los procesos químicos de fuente estacionaria, podría ayudar a impulsar mejoras importantes en las prácticas laborales seguras en los Estados Unidos.

La CSB recomienda que el CCPS publique directrices sobre prácticas laborales seguras, incluidas directrices detalladas y prácticas para evaluar las SIMOP. Las directrices, como mínimo, deben abordar el contenido que se encuentra en el recurso del sitio web del CCPS para implementar prácticas laborales seguras. Además, la publicación debe analizar las directrices para el ciclo de vida de las SIMOP, incluidos los métodos para identificarlas, métodos para realizar una evaluación de su peligros, salvaguardas y controles relacionados, preparación y ejecución de estas. Al desarrollar estas directrices, tenga en cuenta los hallazgos presentados en el informe de la CSB titulado *Fuego durante trabajo en caliente en Evergreen Packaging Paper Mill* y este informe de la CSB, titulado *Fractura de equipo y el escape fatal de cloruro de hidrógeno en Wacker Polysilicon North America*.

Además, la CSB reemplaza la recomendación 2020-07-I-NC-R2 de la OSHA, publicada originalmente en el informe de la CSB titulado *Fuego durante trabajo en caliente en Evergreen Packaging Paper Mill*. La CSB recomienda que la OSHA exija a los empleadores que aseguren la coordinación de las SIMOP que involucren a múltiples grupos de trabajo, incluidos los contratistas. Asegúrese de que este requisito se aplique a todas las actividades y no solo a los espacios confinados. Incluir en el requisito para que los Empleadores se aseguren de que se lleven a cabo las siguientes actividades:

- identificación de potenciales operaciones simultáneas;
- identificación de posibles interacciones peligrosas;
- evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir operaciones simultáneas seguras;
- coordinación, incluidos los métodos de comunicación compartidos, entre las operaciones simultáneas; e
- inclusión de personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las operaciones simultáneas.

La CSB también emite esta misma recomendación a la OSHA de Tennessee.

Además, la CSB recomienda que la OSHA desarrolle un producto de seguridad que brinde directrices sobre la coordinación de las SIMOP que involucren múltiples grupos de trabajo, incluidos contratistas, que no se limite a espacios confinados o construcción. Proporcionar directrices sobre las siguientes actividades:

- identificación de SIMOP potenciales;
- identificación de posibles interacciones peligrosas;
- evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir SIMOP seguras;
- coordinación, incluyendo métodos de comunicación compartidos, entre las SIMOP; e
- inclusión del personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las SIMOP.

4.4 MEDIOS DE SALIDA

4.4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA BRECHA DE SALIDA DE LOS EMPLEADOS DE WACKER EN EL PHA

Wacker realizó un análisis de riesgos de procesos (PHA, por sus siglas en inglés), con fecha del 11 de agosto de 2020, tres meses antes del incidente, que evaluó la disponibilidad de una sola salida en los pisos cuarto y quinto de la estructura de acceso a los equipos desde donde se produjo el escape de HCl. El escenario (1) del PHA cuestionó específicamente “¿Qué pasa si hay una fuga de HCl de la [estructura de la torre] mientras el personal está en los pisos 4.^{to} o 5.^{to} de la unidad de modo que deben moverse a través de la nube para bajar las escaleras, ¿Cuáles están en el extremo norte de la plataforma?” El equipo del PHA brindó una recomendación para instalar una escalera con una jaula cerrada, o algún otro medio de salida, en el extremo opuesto de la estructura para que el personal la utilizara en caso de que el camino hacia las escaleras existentes esté bloqueado. Wacker asignó la acción para abordar la instalación de medios de salida alternativos al Gerente de Ingeniería de Procesos e Instalaciones, pero el PHA no incluyó un cronograma ni una fecha límite para la implementación. No se instaló ninguna forma secundaria de salida antes de la fecha del incidente.

Wacker también mantuvo un sistema de sugerencias de seguridad en línea en el que los empleados podían enviar comentarios relacionados con la seguridad. Durante las entrevistas de la CSB con el personal especializado de apoyo en el área de HCl, varios empleados mencionaron haber conversado con la gerencia o

LECCIÓN CLAVE

El análisis de riesgos de procesos (PHA) es una herramienta importante para identificar, evaluar y controlar los peligros específicos de las instalaciones y los procesos. Si bien los códigos de construcción son una base importante en el diseño de instalaciones, no necesariamente consideran los peligros específicos que plantea un proceso determinado. Los propietarios y operadores deben priorizar la implementación de las recomendaciones del PHA y los aportes de los empleados para controlar los peligros que han sido identificados por las personas más cercanas y familiarizadas con las instalaciones y las operaciones.

enviado comentarios en línea sobre la necesidad de un medio de salida secundario en la estructura de la torre. Sin embargo, las entrevistas con los empleados de Wacker indicaron una percepción entre los trabajadores de que la gerencia aplazó las preocupaciones de los empleados con respecto a la salida secundaria debido a que la gerencia entendió que el edificio fue diseñado según el código. Como describió un empleado de Wacker:

Nosotros... todos estábamos presionando para tener una salida de emergencia, una nueva escalera. Y por alguna razón, quiero decir que el edificio está dentro de [los normas]. Y esa fue básicamente la respuesta que obtuvimos cuando queríamos tener un medio de salida secundario para el edificio... Pero es difícil discutir con las normas...

La CSB concluye que, según la recomendación del PHA y las declaraciones de los trabajadores, Wacker estaba al tanto de los riesgos que representaba un único punto de salida en la estructura de la torre. Sin embargo, el riesgo se documentó en el PHA tres meses antes de que ocurriera el incidente y aún no se había abordado. Además, Wacker no vio una necesidad inmediata de instalar un segundo punto de salida ya que Wacker consideró que la estructura cumplía con los códigos y normas de construcción aplicables y había recibido un certificado de ocupación de la autoridad de permisos del código de construcción local. Si Wacker hubiera implementado la recomendación del PHA y la sugerencia de los trabajadores de un medio de salida secundario antes del incidente, es posible que los trabajadores afectados por el escape de HCl hubieran tenido acceso a una ruta de salida más segura y hubieran podido salir del quinto piso, prevenir la muerte y las lesiones graves de los trabajadores de Pen Gulf.

4.4.2 APLICACIÓN DE WACKER DEL CÓDIGO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN

Como parte del esfuerzo de diseño para la estructura de acceso al equipo, Wacker consideró varios códigos de edificación y construcción, incluido el Código Internacional de la Construcción (IBC) de 2012.^a Según el IBC de 2012, Wacker designó la estructura de acceso al equipo como “una plataforma para equipo que no se puede ocupar”. Los pisos de rejilla y entresijos se consideran plataformas de acceso de mantenimiento a los equipos de proceso...”. La edición de 2012 del IBC define una plataforma de equipo como una “plataforma elevada desocupada que se utiliza exclusivamente para sistemas mecánicos o equipos de procesos industriales, incluidos los pasillos elevados asociados, las escaleras, los dispositivos de peldaños alternos y las escaleras necesarias para acceder a la plataforma” [31, p. 19]. Debido a la designación de la estructura como una plataforma para el equipo que no se puede ocupar, Wacker concluyó que el IBC no requería múltiples puntos de salida y se determinó que la escalera de acceso era suficiente como medio de salida.^b Además, la estructura fue

^a Wacker también consideró el Código Internacional de Protección contra Incendios (IFC, por sus siglas en inglés) de 2012 y el Código de seguridad humana de la NFPA 101 de 2012.

^b El IBC de 2012 requiere dos salidas para ciertos espacios que se pueden ocupar. El IBC define un espacio que se pueden ocupar como “una habitación o espacio cerrado diseñado para la ocupación humana en el que las personas se congregan con fines recreativos, educativos o similares, o en el que los ocupantes realizan trabajos y que esté equipado con medios de salida e instalaciones de luz y ventilación que cumplan con los requisitos de este código [31, p. 29]”. Las plataformas de equipos, como la estructura de Wacker, no son consideradas por el IBC de 2012 como un espacio que se pueda ocupar y que requiera dos salidas.

inspeccionada y autorizada por el Departamento de Inspecciones de Construcción de Tennessee del condado de Bradley y se determinó que cumplía con los códigos de construcción locales relevantes.^a

4.4.3 BRECHA EN LOS CÓDIGOS Y NORMAS DE MEDIOS DE SALIDA

Las estructuras industriales al aire libre, normalmente desocupadas, como la que usa Wacker, son comunes en todas las instalaciones industriales, plantas químicas y refinerías. Como parte de su investigación, la CSB identificó varias brechas y oportunidades de mejora para los códigos y normas aplicables a las estructuras industriales al aire libre.

Código Internacional de la Construcción

El IBC ofrece requisitos para varias ocupaciones industriales según el uso del edificio y la cantidad de ocupantes esperada. A continuación se muestran ejemplos de ocupaciones del IBC que pueden aplicarse a procesos como los de Wacker:

- *Ocupación del grupo F industrial de fábrica:* edificio o estructura, o una parte del mismo, para operaciones de montaje, desmontaje, fabricación, acabado, elaboración, embalaje, reparación o procesamiento [31, p. 42].
- *Ocupación del grupo H de alto riesgo:* edificio o estructura, o una parte del mismo, que implica la fabricación, el procesamiento, la generación o el almacenamiento de materiales que constituyen un riesgo físico o para la salud en las cantidades definidas en el IBC [31, p. 43].
- *Grupo U de servicios públicos y misceláneos:* los edificios y estructuras de carácter accesorio y las estructuras misceláneas no clasificadas en ninguna ocupación específica deben construirse, equiparse y mantenerse para cumplir con los requisitos de este código de acuerdo con el riesgo de incendio y vida incidental a su ocupación [31, pp. 50-51].

Si bien estas clasificaciones de ocupación ofrecen directrices para estas estructuras industriales, las disposiciones pertinentes no se aplican a las estructuras de equipo normalmente desocupadas. Para cada una de estas ocupaciones, el IBC exige que la estructura incluya al menos dos medios de salida en el tercer piso y superiores [31, p. 267]. Sin embargo, dado que la estructura en las instalaciones de Wacker fue designada como una plataforma de equipo desocupada, este requisito no se aplicó.

Rutas de salida y planificación de emergencias de la OSHA

La OSHA proporciona requisitos para medios de salida en los artículos 1910.34 a 1910.40 del título 29 del CFR. Para las rutas de salida y la planificación de emergencias, la OSHA requiere que “la cantidad de rutas de salida

^a El condado de Bradley adoptó en el IBC de 2012 como el código de construcción local.

sea adecuada”^a y al menos dos rutas de salida deben estar disponibles,^b excepto donde la cantidad de empleados, el tamaño del edificio, su ocupación o la disposición del lugar de trabajo es tal que todos los empleados podrían evacuar de forma segura^c [32]. Si bien este requisito ofrece un medio de citación cuando se demuestra que el medio de salida es inadecuado, carece de definiciones y expectativas específicas, lo que dificulta que los diseñadores de edificios y los empleadores de instalaciones empleen el grado de juicio necesario al intentar aplicar estos requisitos a estructuras industriales al aire libre que se encuentran en plantas de procesamiento químico. Los requisitos del artículo 1910.36(b) del título 29 del CFR incluyen una nota para consultar la NFPA 101-2009 con el fin de obtener ayuda en la determinación del número de rutas de salida necesarias. Los requisitos de la NFPA 101 se analizan a continuación.

Código de Seguridad Humana de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA)

El Código de seguridad humana de la NFPA 101 aborda los requisitos de medios de salida para ocupaciones industriales [33, p. 365]. La meta de la NFPA 101 es proporcionar un entorno para los ocupantes que sea razonablemente seguro contra incendios [33, p. 40]. Como tal, el código requiere la cantidad de medios de salida según la clasificación de los contenidos peligrosos, que se determina según la combustibilidad, la velocidad de combustión y la probabilidad de explosión [33, p. 52]. La edición de 2018 de la NFPA incluye una meta adicional para brindar seguridad humana razonable durante eventos de emergencia que involucren materiales peligrosos,^d con el objetivo de brindar salvaguardas fundamentales para “prevenir o mitigar razonablemente eventos que involucren materiales peligrosos para permitir el tiempo necesario para evacuar, reubicar o resguardar en el lugar a los ocupantes” [33, p. 40]. Sin embargo, con respecto a la cantidad de medios de salida, el código exige que los materiales peligrosos también se clasifiquen como contenidos de alto riesgo [33, p. 90], o “aquellos que pueden arder con extrema rapidez o que pueden provocar explosiones” [33, p. 52], para requerir múltiples medios de salida.^e De lo contrario, el código permite un único punto de salida [33, p. 367], independientemente de los peligros físicos o para la salud del contenido.^f (Traducido al español por Latitude Prime)

Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH)

El NIOSH publicó los *Criteria for a Recommended Standard for Emergency Egress of Elevated Workstations* (*Criterios para una norma recomendada para la salida de emergencia de estaciones de trabajo elevadas*) en 1975, que identificó una brecha en las directrices y las normas de salida de emergencia [34]. La publicación

^a Artículo 1910.36(b) del título 29 del CFR

^b El artículo 1910.36(b)(1) del título 29 del CFR establece: “Dos rutas de salida. Debe haber al menos dos rutas de salida disponibles en un lugar de trabajo para permitir la evacuación rápida de los empleados y otros ocupantes del edificio durante una emergencia, excepto lo permitido en el párrafo (b)(3) de esta sección. Las rutas de salida deben ubicarse lo más lejos posible entre sí para que, si una ruta de salida está bloqueada por fuego o humo, los empleados puedan evacuar usando la segunda ruta de salida”. (Traducido al español por Latitude Prime)

^c El artículo 1910.36(b)(3) del título 29 del CFR establece: “Una sola ruta de salida. Se permite una única ruta de salida cuando la cantidad de empleados, el tamaño del edificio, su ocupación o la disposición del lugar de trabajo es tal que todos los empleados podrían evacuar de manera segura durante una emergencia”.

La ^d NFPA 101 define “Material peligroso” como “Un químico o sustancia que se clasifica como un material de peligro físico o un material de peligro para la salud, ya sea que el químico o la sustancia esté en condiciones utilizables o de desecho” [33, p. 34]. Esta definición incluye el HCl gaseoso.

^e Consulte las secciones 7.12.1 y 7.11.4 del NFPA 101-2018

^f Consulte la sección 40.2.4.1.2 del NFPA 101-2018.

evalúa las referencias de medios de salida de la OSHA, la NFPA, el ANSI y las entidades estatales, y exige un estándar específico para la salida de emergencia:

[L]a salida de los trabajadores de las estaciones de trabajo elevadas ha sido subordinada en importancia a las agencias que producen y adoptan estándares. La necesidad de estándares definitivos sobre el tema no ha sido demostrada por la recopilación y análisis de estadísticas relevantes. El lenguaje específico relacionado con el tema, en algunos casos, se ha eliminado durante el proceso de adopción de normas debido a la naturaleza técnica de los requisitos, su impacto económico o su potencial para generar una reacción negativa por parte de las facciones dentro del campo laboral y patronal. Cuando el tema ha sido incluido en normas de consenso, ha sido tratado como un complemento a la preocupación general de la norma... [34, p. 49]. (Traducido al español por Latitude Prime)

Los criterios del NIOSH también identificaron que, entre los códigos y normas evaluados, “[n]o existen normas actuales que especifiquen los requisitos de capacitación para la salida de lugares altos” [34, p. 30].

Conclusiones

La CSB concluye que los requisitos de construcción actuales del IBC y la NFPA no brindan suficientes medios de salida de las plataformas de trabajo elevadas utilizadas para acceder a equipos que contienen materiales peligrosos.

La CSB recomienda que el Código Internacional de Construcción (ICC, por sus siglas en inglés) enmiende el IBC para abordar las condiciones que pueden requerir múltiples medios de salida desde plataformas elevadas de equipos utilizadas para acceder a equipos que contienen materiales que presentan riesgos físicos y para la salud, como el utilizado en Wacker en este incidente. Aborde las ubicaciones de salida para aumentar la probabilidad de que los trabajadores escapen en caso de que se produzca un escape de material peligroso.

La CSB también recomienda que la NFPA revise el *Código de seguridad humana* de la NFPA 101, el *Código de fluidos criogénicos y gases comprimidos* de la NFPA 55 o el *Código de materiales peligrosos* de la NFPA 400 para abordar las condiciones que pueden requerir múltiples medios de salida de estructuras industriales elevadas que contienen materiales peligrosos que presentan riesgos físicos y para la salud, independientemente de su combustibilidad, velocidad de combustión o probabilidad de explosión. Las directrices deben abordar las situaciones de salida para los trabajadores en estructuras elevadas sin paredes en presencia de materiales que presentan riesgos físicos y para la salud. Aborde las ubicaciones de salida para aumentar la probabilidad de que los trabajadores escapen en caso de que se produzca un escape de material peligroso.

5 CONCLUSIONES

5.1 CONSIDERACIONES

1. La falla de la boquilla del intercambiador de calor de grafito se debió a que se apretó demasiado los pernos que conectan la boquilla de grafito al equipo revestido con PTFE.

Procedimientos escritos

2. La confianza de Wacker y Jake Marshall en las instrucciones verbales, comunicadas secuencialmente por tres personas separadas sin un procedimiento detallado específico de la tarea, aumentó la probabilidad de mala comunicación o comprensión de los pasos y precauciones de la tarea.
3. El desarrollo de documentación y capacitación que definan diferentes tipos de requisitos de torqueo, como “torqueo en caliente” según corresponda, podría haber ayudado a eliminar el lenguaje coloquial inconsistente en las instalaciones de Wacker.
4. Wacker no estableció, implementó ni se adhirió a procedimientos de mantenimiento detallados y específicos del trabajo relacionados con las tareas de torqueo en el intercambiador de calor AW234. En cambio, los contratistas de Jake Marshall recibieron instrucciones poco claras e indocumentadas para apretar los pernos del intercambiador de calor.
5. Si Wacker hubiera utilizado la información del manual de instalación y diseño de tuberías y el dibujo del intercambiador de calor del fabricante para desarrollar procedimientos de torqueo específicos para la unidad de regeneración del HCl y el intercambiador de calor AW234, es probable que los contratistas hubieran aplicado los valores de torque correctos a las conexiones de PTFE a grafito del intercambiador de calor AW234, lo que habría evitado el incidente.

Control de energía peligrosa

6. Wacker no realizó un análisis de riesgo para determinar si la tarea de torque en caliente se podía realizar de manera segura en el equipo operativo, ni implementó precauciones para mitigar el riesgo de apretar los pernos en el equipo operativo antes de emitir un permiso de trabajo seguro para los trabajadores de Jake Marshall. Si Wacker hubiera implementado las mismas precauciones tomadas como parte de una ruptura de primera línea, es decir, métodos de aislamiento de energía, requisitos de PPE, restricciones de personal y barricadas, es probable que se hubieran podido evitar las lesiones de los trabajadores de Pen Gulf.

Operaciones simultáneas

7. Wacker carecía de un proceso de SIMOP formalizado, no identificó correctamente los peligros introducidos por el trabajo permitido en el mismo lugar y usó un proceso de permisos de trabajo seguro e ineficaz, lo que resultó en el uso compartido de los equipos de trabajo de Jake Marshall y Pen Gulf durante el torqueado en caliente y trabajos de aislamiento en el quinto piso de la estructura de acceso a equipos. En consecuencia, los trabajadores de Pen Gulf no estaban conscientes de los peligros y no pudieron tomar precauciones, como retrasar la tarea de reaislamiento o ponerse el PPE de protección

química, y como resultado estuvieron expuestos innecesariamente a los peligros de la tarea de torqueo en caliente.

8. Si bien existen algunas directrices publicadas de varios sectores sobre las SIMOP, existen directrices reguladoras y de la industria limitadas sobre las consideraciones apropiadas de las SIMOP para las instalaciones de procesos químicos y otras fuentes estacionarias en los Estados Unidos.
9. Si bien el recurso actual del sitio web de CCPS sobre las SIMOP es un comienzo beneficioso para animar a las instalaciones a considerar las SIMOP al permitir el trabajo, se necesita orientación práctica adicional, como en un libro o publicación monográfica de las *Directrices* del CCPS, para ayudar a las instalaciones a desarrollar programas de evaluación de las SIMOP. Una publicación de este tipo, que describa los pasos del ciclo de vida de una SIMOP, incluida la revisión, el análisis de peligros y la evaluación de riesgos específicos de los procesos químicos de fuente estacionaria, podría ayudar a impulsar mejoras importantes en las prácticas laborales seguras en los Estados Unidos.

Medios de salida

10. Wacker era consciente de los riesgos que planteaba un único punto de salida en la estructura de la torre. Sin embargo, el riesgo se documentó en el PHA tres meses antes de que ocurriera el incidente y aún no se había abordado. Además, Wacker no vio una necesidad inmediata de instalar un segundo punto de salida ya que Wacker consideró que la estructura cumplía con los códigos y normas de construcción aplicables y había recibido un certificado de ocupación de la autoridad de permisos del código de construcción local. Si Wacker hubiera implementado la recomendación del PHA y la sugerencia de los trabajadores de un medio de salida secundario antes del incidente, es posible que los trabajadores afectados por el escape de HCl hubieran tenido acceso a una ruta de salida más segura y hubieran podido salir del quinto piso, prevenir la muerte y las lesiones graves de los trabajadores de Pen Gulf.
11. Los requisitos de construcción actuales del IBC y de la NFPA no proporcionan suficientes medios de salida de las plataformas de trabajo elevadas utilizadas para acceder a equipos que contienen materiales peligrosos.

5.2 CAUSA

La CSB determinó que la causa del incidente fue el torqueo excesivo involuntario de los pernos en una conexión de brida de tubería del HCl a un intercambiador de calor, lo que resultó en la fractura de la tubería de salida del intercambiador de calor y el escape del HCl gaseoso en las cercanías de siete trabajadores contratados. La falta de procedimientos escritos y la falta de control de energía peligrosa por parte de Wacker contribuyeron a que ocurriera el evento y la falta de un programa de SIMOP de Wacker y la inexistencia de directrices reguladoras y publicadas de la industria sobre las SIMOP contribuyeron a la gravedad del evento. Los medios de salida limitados de Wacker desde la estructura de acceso al equipo y la inexistencia de directrices y normas reguladoras sobre los medios de salida de las estructuras industriales al aire libre también contribuyeron a la gravedad del evento.

6 RECOMENDACIONES

Para prevenir futuros incidentes químicos y con el interés de impulsar la excelencia en seguridad química para proteger a las comunidades, los trabajadores y el medio ambiente, la CSB hace las siguientes recomendaciones de seguridad:

6.1 RECOMENDACIONES EMITIDAS ANTERIORMENTE REEMPLAZADAS EN ESTE INFORME

6.1.1 ADMINISTRACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL (OSHA)

2020-07-I-NC-R2 (de Evergreen Packaging Paper Mill - Informe de incendios durante trabajo en caliente)

Exigir a los propietarios y operadores que aseguren la coordinación de operaciones simultáneas que involucren múltiples grupos de trabajo, incluidos los contratistas. Incluir en el requisito para que los propietarios y operadores garanticen que se lleven a cabo las siguientes actividades:

- identificación de potenciales operaciones simultáneas;
- identificación de posibles interacciones peligrosas;
- evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir operaciones simultáneas seguras;
- coordinación, incluidos los métodos de comunicación compartidos, entre las operaciones simultáneas; e
- inclusión de personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las operaciones simultáneas.

Según sea necesario, solicitar al ente regulador que promulgue este requisito.

*Reemplazado por **2021-01-I-TN-R1** a OSHA en la Sección 6.2.1 a continuación.*

6.2 NUEVAS RECOMENDACIONES

6.2.1 ADMINISTRACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL (OSHA)

2021-01-I-TN-R1 (Reemplaza 2020-07-I-NC-R2 del informe Evergreen Packaging 2020 de la CSB)

Promulgar una norma o modificar las normas existentes para exigir a los empleadores que aseguren la coordinación de operaciones simultáneas (SIMOP) que involucren a múltiples grupos de trabajo, incluidos los contratistas. Asegurarse de que los requisitos de esta norma o normas se apliquen tanto a la industria general como a las actividades de construcción y no se limiten a las actividades que ocurren dentro de espacios confinados. Incluir en los requisitos estándar para que los empleadores garanticen la realización de las siguientes actividades:

- a. identificación de SIMOP potenciales;
- b. identificación de posibles interacciones peligrosas;
- c. evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir SIMOP seguras;
- d. coordinación, incluyendo métodos de comunicación compartidos, entre las SIMOP; e
- e. inclusión del personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las SIMOP.

2021-01-I-TN-R2

Desarrollar un producto de seguridad que brinde directrices sobre la coordinación de operaciones simultáneas (SIMOP) que involucre a múltiples grupos de trabajo, incluidos los contratistas, que no se limite a espacios confinados o construcción. Proporcionar directrices sobre las siguientes actividades:

- a. identificación de SIMOP potenciales;
- b. identificación de posibles interacciones peligrosas;
- c. evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir SIMOP seguras;
- d. coordinación, incluyendo métodos de comunicación compartidos, entre las SIMOP; e
- e. inclusión del personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las SIMOP.

6.2.2 WACKER POLYSILICON

2021-01-I-TN-R3

Desarrollar procedimientos de mantenimiento detallados para las actividades de torqueo que:

- a. comuniquen claramente las diferentes especificaciones para el torque del equipo, como las de los pernos instalados en conexiones de PTFE a PTFE y de PTFE a grafito a través de medios visuales como fotografías anotadas, señalización, diferenciación física y otros métodos, según corresponda;
- b. incluyan los requisitos de procedimiento para todas las actividades de torque realizadas en equipos que contengan material peligroso para realizar un análisis de ingeniería y riesgo e implementar medidas de seguridad como resultado del análisis de riesgo, según el PCC-1-2019 *Directrices de ASME PCC-1-2019 para el ensamblaje de juntas de brida atornilladas con límite de presión* y ANSI/ASSP Z244.1-2016 *El control de energía peligrosa Bloqueo, etiquetado y métodos alternativos* de la American Society of Mechanical Engineers (ASME);
- c. aseguren que términos como “torque en caliente” estén claramente definidos y que los empleados y contratistas estén capacitados en estos términos; y
- d. aseguren que los procedimientos y la capacitación cumplan con los requisitos de integridad mecánica del estándar de Gestión de la Seguridad de Procesos (PSM) que se encuentra en el artículo 1910.119 (j) del título 29 del Código de Reglamentos Federales (CFR, por sus siglas en inglés) y la regla del Programa de Gestión de Riesgos (RMP) que se encuentra en el artículo 68.73 del título 40 del CFR.

2021-01-I-TN-R4

Desarrollar requisitos de política para garantizar que las actividades de torqueo realizadas en equipos que contienen energía peligrosa se realicen de manera segura, como mediante la eliminación del inventario de equipos o la restricción del personal no esencial y asegurando que los trabajadores esenciales usen el PPE adecuado. Documentar estos requisitos en procedimientos, como *Lock, Tag and Try; First Line Break – Return to Service*; u otros procedimientos según corresponda. Asegurarse de que los empleados y contratistas estén capacitados en estos procedimientos de acuerdo con los requisitos estándar de Gestión de la Seguridad de Procesos (PSM) que se encuentran en los artículos 1910.119(f)(4) y 1910.119(g) del título 29 del CFR y la norma del Programa de Gestión de Riesgos (RMP) que se encuentra en los artículos 68.69(d) y 68.71 del título 40 del CFR.

2021-01-I-TN-R5

Desarrollar e implementar un programa formalizado de operaciones simultáneas (SIMOP) que aborde las tareas de trabajo en el mismo lugar planificadas y permitidas, que incluyan:

- a. identificación de SIMOP potenciales;
- b. identificación de posibles interacciones peligrosas;
- c. evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir SIMOP seguras;
- d. coordinación, incluyendo métodos de comunicación compartidos, entre las SIMOP; e
- e. inclusión del personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las SIMOP.

Asegurar que el personal relevante esté capacitado en la ejecución del programa de las SIMOP.

2021-01-I-TN-R6

Instalar medios de salida adicionales para las plataformas de la torre de desorción T230 y otras estructuras de equipos de varios pisos en el sitio. Después de completar estas instalaciones, asegurarse de que los trabajadores conozcan las ubicaciones de salida de las plataformas de la estructura mediante capacitación, simulacros u otras técnicas, según corresponda.

6.2.3 ADMINISTRACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL DE TENNESSEE (TOSHA)

2021-01-I-TN-R7

Promulgar una norma o modificar las normas existentes para exigir a los empleadores que aseguren la coordinación de operaciones simultáneas (SIMOP) que involucren a múltiples grupos de trabajo, incluidos los contratistas. Asegurarse de que los requisitos de esta norma o normas se apliquen tanto a la industria general como a las actividades de construcción y no se limiten a las actividades que ocurren dentro de espacios confinados. Incluir en los requisitos estándar para que los empleadores garanticen la realización de las siguientes actividades:

- a. identificación de SIMOP potenciales;
- b. identificación de posibles interacciones peligrosas;
- c. evaluación e implementación de las salvaguardas necesarias para permitir SIMOP seguras;
- d. coordinación, incluyendo métodos de comunicación compartidos, entre las SIMOP; e
- e. inclusión del personal o servicios de respuesta a emergencias en la planificación y coordinación de las SIMOP.

6.2.4 CENTRO PARA LA SEGURIDAD DE PROCESOS QUÍMICOS (CCPS)

2021-01-I-TN-R8

Desarrollar y publicar un producto de seguridad sobre Prácticas laborales seguras, que incluya lineamientos prácticos y detallados para evaluar operaciones simultáneas (SIMOP). Las directrices, como mínimo, deberían:

- a. abordar el contenido que se encuentra en el recurso del sitio web del CCPS para implementar prácticas laborales seguras; y
- b. discutir las pautas para un ciclo de vida de las SIMOP, que incluyan:
 1. métodos para identificar las SIMOP;
 2. métodos para realizar una evaluación de peligros mediante las SIMOP;
 3. salvaguardias y controles relativos a las SIMOP;

4. preparación para las SIMOP; y
5. ejecución de las SIMOP.

Al desarrollar este producto de seguridad, tenga en cuenta los hallazgos presentados en el informe de la CSB titulado *Fuego durante trabajo en caliente en Evergreen Packaging Paper Mill* y este informe de la CSB, titulado *Equipment Fracture and Fatal Hydrogen Chloride Release at Wacker Polysilicon North America (Fractura de equipo y el escape fatal de cloruro de hidrógeno en Wacker Polysilicon North America)*.

6.2.5 CONSEJO INTERNACIONAL DE CÓDIGOS (ICC)

2021-01-I-TN-R9

Modificar el Código Internacional de Construcción (IBC) para abordar las condiciones que pueden requerir múltiples medios de salida desde plataformas de equipos elevados que se utilizan para acceder a equipos que contienen materiales que presentan riesgos físicos y para la salud, como el que se usó en Wacker en este incidente. Especificar la cantidad mínima de puntos de salida para aumentar la probabilidad de que el trabajador escape en caso de que se produzca un escape de material peligroso.

6.2.6 ASOCIACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS (NFPA)

2021-01-I-TN-R10

Revisar el *Código de seguridad humana* de la NFPA 101, el *Código de fluidos criogénicos y gases comprimidos* de la NFPA 55 o el *Código de materiales peligrosos* de la NFPA 400 para abordar las condiciones que pueden requerir múltiples medios de salida de estructuras industriales elevadas que contienen materiales peligrosos que presentan riesgos físicos y para la salud, independientemente de su combustibilidad, velocidad de combustión o probabilidad de explosión. Las directrices deben abordar las situaciones de salida para los trabajadores en estructuras elevadas sin paredes en presencia de materiales que presentan riesgos físicos y para la salud. Especificar la cantidad mínima de puntos de salida para aumentar la probabilidad de que el trabajador escape en caso de que se produzca un escape de material peligroso.

7 LECCIONES CLAVE PARA LA INDUSTRIA

Para prevenir futuros incidentes químicos y con el interés de impulsar la excelencia en seguridad química para proteger a las comunidades, los trabajadores y el medio ambiente, la CSB insta a las empresas a revisar estas lecciones clave:

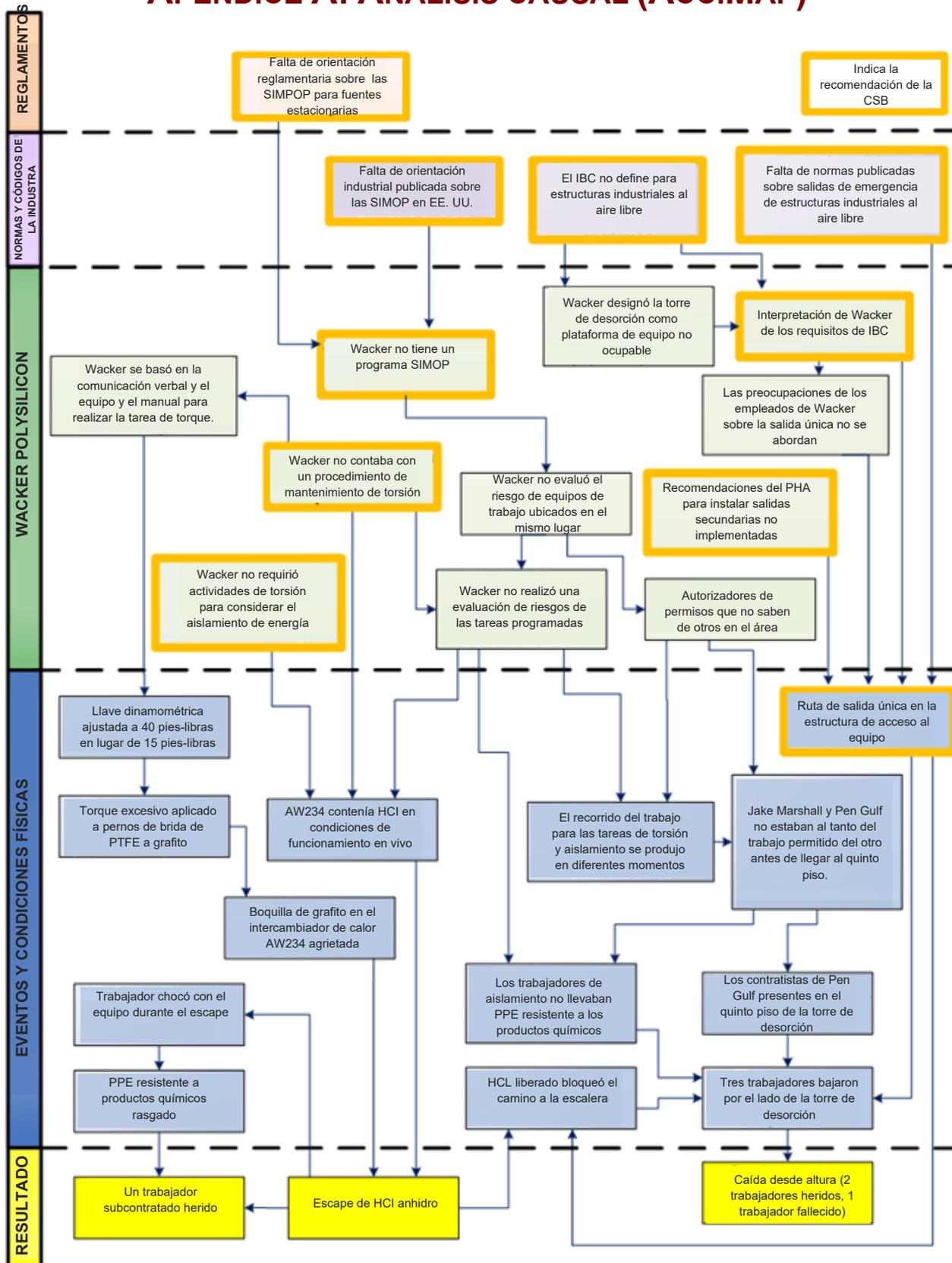
1. Los procedimientos escritos son una herramienta fundamental para garantizar operaciones y actividades de mantenimiento seguras. Los procedimientos consolidan la información requerida para ejecutar una tarea dada en instrucciones paso a paso fáciles de entender, con referencia específica a precauciones de seguridad y acciones cruciales. Se deben preparar procedimientos escritos para operaciones peligrosas como parte de prácticas de trabajo seguras y sólidas, incluidas las actividades de mantenimiento temporales o auxiliares.
2. El idioma, el lenguaje coloquial y la jerga, cuando no están definidos ni documentados, pueden dar lugar a diferentes interpretaciones de la misma terminología. Es importante que la terminología localizada que se refiere a acciones y tareas en equipos de proceso se defina oficialmente en una política o procedimiento específico del sitio.
3. Se debe considerar el control de energía peligrosa siempre que se repare, ajuste, inspeccione y mantenga un equipo que contenga energía peligrosa, no solo en situaciones en las que el equipo se abra intencionalmente. Antes de trabajar en equipos que contienen energía peligrosa, siempre se debe realizar una evaluación de riesgos para evaluar la necesidad de aislamiento de energía u otras medidas de protección.
4. Los propietarios y operadores siempre deben considerar cómo las operaciones simultáneas, o las SIMOP, podrían afectar una operación determinada, ya sea influyendo en un peligro o afectando el riesgo de la operación. Las SIMOP deben identificarse y controlarse mediante una evaluación de peligros antes de comenzar una operación o tarea determinada. Un sistema establecido para administrar los permisos de trabajo también puede identificar los riesgos asociados con las SIMOP antes de que ocurran. Un sistema bien establecido debe ser capaz de documentar la tarea específica que se ejecutará, coordinar fácilmente los permisos emitidos e identificar escenarios de interacción potencial entre los grupos de trabajo autorizados.
5. El análisis de riesgos de procesos (PHA) es una herramienta importante para identificar, evaluar y controlar los peligros específicos de las instalaciones y los procesos. Si bien los códigos de construcción son una base importante en el diseño de instalaciones, no necesariamente consideran los peligros específicos que plantea un proceso determinado. Los propietarios y operadores deben priorizar la implementación de las recomendaciones del PHA y los aportes de los empleados para controlar los peligros que han sido identificados por las personas más cercanas y familiarizadas con las instalaciones y las operaciones.

8 REFERENCIAS

- [1] P. M. Zurich, "PEOPLE • MARKETS • CHEMISTRY, The Wacker Chemie Formula for Success 1914 – 2014," Wacker, 2014.
- [2] Jake Marshall, LLC, "Industrial Maintenance Services," [Online]. Available: <https://www.jakemarshall.com/3.8>. [Accessed 14 June 2021].
- [3] Pen Gulf, Inc., "Industrial and Insulation Services," 2022. [Online]. Available: <http://pengulf.com>.
- [4] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), "Hydrogen Chloride," Centers for Disease Control and Prevention (CDC), April 2002. [Online]. Available: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts173.pdf>. [Accessed 13 May 2021].
- [5] National Oceanic and Atmospheric Administration, "Chemical Datasheet - Hydrochloric Acid Solution," CAMEO Chemicals, [Online]. Available: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/3598>. [Accessed 12 January 2021].
- [6] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), "hydrochloric-acid.pdf," [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/hydrochloric-acid.pdf>. [Accessed 19 February 2021].
- [7] A. S. Derbyshev, A. N. Suriev, A. N. Efimov, I. A. Beresneva and F. A. Ladygin, "Corrosion of materials in hydrochloric acid solutions," *Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 47, pp. 632 - 634, 2012.
- [8] 29 CFR 1910.119, *Process safety management of highly hazardous chemicals*.
- [9] 40 CFR 68, *Chemical Accident Prevention Provisions*.
- [10] Census Reporter, "Census Reporter - Census Tract 112.01, Bradley, TN," [Online]. Available: <https://censusreporter.org/profiles/14000US47011011201-census-tract-11201-bradley-tn/>.
- [11] Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Writing Effective Operating and Maintenance Procedures*, 1996.
- [12] American Society of Mechanical Engineers (ASME), *ASME PCC-1-2019 Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly*, 2019.
- [13] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), "DHHS (NIOSH) Publication No. 2015-198 - Workplace Design Solutions: Supporting Prevention through Design (PtD) Using Business Value Concepts," August 2015. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/wp-solutions/2015-198/pdfs/2015-198.pdf>. [Accessed 16 May 2023].
- [14] American National Standards Institute (ANSI)/American Society of Safety Professionals (ASSP), *ANSI/ASSP Z244.1-2016 (R2020) The Control of Hazardous Energy Lockout, Tagout and Alternative Methods*, 2020.
- [15] P. Baybutt, "Simultaneous Operation (SIMOP) Review: An Important Hazard Analysis Tool," *Process Safety Progress*, vol. 36, no. 1, pp. 62-66, 2017.
- [16] Health and Safety Executive, *HSG250: Guidance on permit-to-work systems, A guide for the petroleum, chemical and allied industries*, 2005.
- [17] International Marine Contractors Association (IMCA), *IMCA M 203: Guidance on Simultaneous Operations (SIMOPS)*, 2016.
- [18] Health and Safety Executive (HSE), "Our Mission and Priorities," [Online]. Available: <https://www.hse.gov.uk/aboutus/our-mission-and-priorities.htm>. [Accessed December 2022].
- [19] Government of Western Australia, Department of Mines, Industry Regulation and Safety, *Petroleum safety and major hazard facility - guide, Bridging documents and simultaneous operations (SIMOPS)*, 2020.
- [20] Center for Chemical Process Safety (CCPS), "Safe Work Practices (SWP)," [Online]. Available: <https://www.aiche.org/ccps/resources/tools/safe-work-practices>. [Accessed December 2022].
- [21] Center for Chemical Process Safety, "Field Review of Permits - Need / Call to Action," [Online]. Available: <https://www.aiche.org/ccps/resources/tools/safe-work-practices/field-review-permits/need-call-action>. [Accessed December 2022].
- [22] Center for Chemical Process Safety (CCPS), "Field Review of Permits - Strategies & Effective Practices to Manage and Mitigate Hazards," [Online]. Available: <https://www.aiche.org/ccps/resources/tools/safe-work-practices/field-review-permits/strategies-effective-practices-manage-and-mitigate-hazards>. [Accessed December 2022].
- [23] Center for Chemical Process Safety (CCPS), "Field Review of Permits - Possible Work Flow," [Online]. Available: <https://www.aiche.org/ccps/resources/tools/safe-work-practices/field-review-permits/possible-work-flow>. [Accessed December 2022].
- [24] Center for Chemical Process Safety, "Field Review of Permits - Common Program Practices," [Online]. Available: <https://www.aiche.org/ccps/resources/tools/safe-work-practices/field-review-permits/common-program-practices>. [Accessed December 2022].
- [25] I. Sutton, *Plant Design and Operations*, 2nd Edition, Gulf Professional Publishing, 2017.
- [26] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, "Fire During Hot Work at Evergreen Packaging Paper Mill".
- [27] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, "Ethylene Release and Fire at Kuraray America, Inc. EVAL Plant".
- [28] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, "Allied Terminals, Inc. - Catastrophic Tank Collapse".

- [29] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, "Refinery Explosion and Fire, BP Texas City, Texas".
- [30] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, "Hydrogen Sulfide Poisoning, Georgia-Pacific Naheola Mill".
- [31] International Code Council (ICC), *International Building Code (IBC)*, 2012.
- [32] 29 CFR 1910.36, *Exit Routes and Emergency Planning*.
- [33] National Fire Protection Association (NFPA), NFPA 101 Life Safety Code, 2018.
- [34] National Institute for Occupational Safety and Health, HEW Publication 76-128 criteria for a recommended standard.... Emergency Egress from Elevated Workstations, 1975.
- [35] Guang Xin Guo Neng Technology Co., Ltd, "<https://www.gxgngraphite.com/news/graphite-properties.html>".
- [36] CG Thermal LLC, "<https://cgthermal.com/heat-exchangers/graphite/>".
- [37] Tennessee Department of Commerce & Insurance, "Limited Licensed Plumbers," [Online]. Available: <https://www.tn.gov/commerce/regboards/llp.html>.
- [38] UA Local 43 Plumbers and Steamfitters, "Apprenticeship," [Online]. Available: <https://ualocal43.org/apprenticeship/>.
- [39] P. Baybutt, "Process safety incidents involving simultaneous operations," *Hydrocarbon Processing*, November 2017.
- [40] United States Census Bureau, "Historical Income Tables: People," 2022. [Online]. Available: <https://www.census.gov/data/tables/time-series/demo/income-poverty/historical-income-people.html>. [Accessed 12 April 2023].
- [41] F. Ullmann, "Ullmann's Chemical Engineering and Plant Design," in *9.11.3 Refractory and Acid-Resistant Bricks*, John Wiley & Sons, 2005.

APÉNDICE A: ANÁLISIS CAUSAL (ACCIMAP)



APÉNDICE B: DESCRIPCIÓN DEL ÁREA CIRCUNDANTE

La **Figura 18** muestra los bloques censales que rodean inmediatamente a Wacker Polysilicon. Los bloques numerados que se muestran en la **Figura 18** y presentados en **Tabla 3** y **Tabla 4** presentan datos de los bloques censales más pequeños disponibles, que incluyen poblaciones de hasta cinco millas de distancia de la instalación.

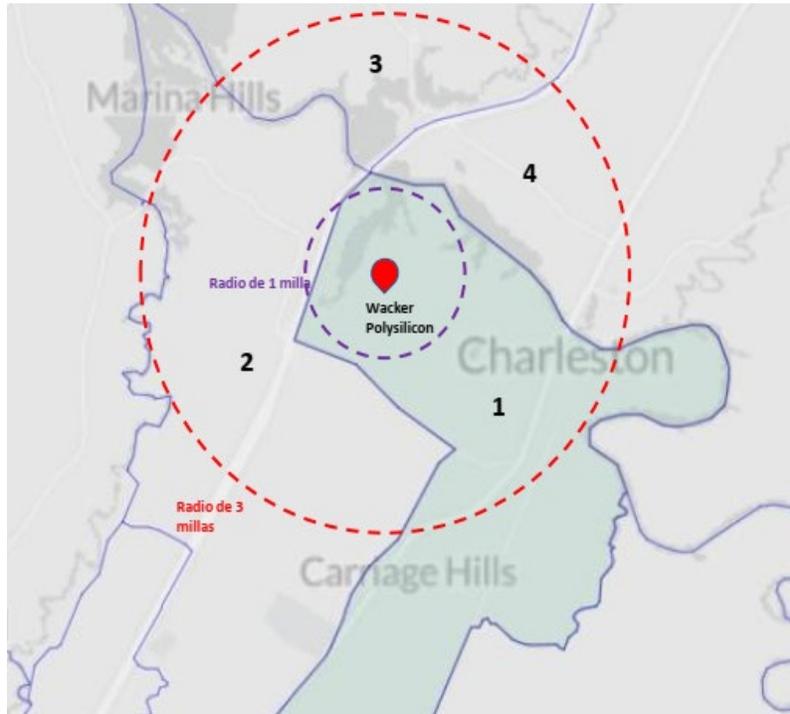


Figura 18. Bloques censales a una distancia aproximada de tres millas de Wacker Polysilicon.
(Fuente: Census Reporter [10], anotaciones de la CSB)

Tabla 3. Datos demográficos resumidos para las poblaciones dentro de los bloques censales que se muestran en la **Figura 18**. (Fuente: reportero del censo [10])

Población	Raza y etnicidad		Ingreso per cápita	Número de unidades de vivienda	Tipos de unidades de vivienda	
6,583	Blancos	85 %	\$29,608	2,621	Pieza individual	78 %
	Negros	5 %			Propiedad vertical	6 %
	Nativos	0 %			Casa móvil	15 %
	Asiáticos	1 %			Barco, RV, furgoneta, etc.	0 %
	Isleños	0 %			X	
	Otros	0 %				
	Más de dos	3 %				
	Hispanos	6 %				

Tabla 4. Tabulación de datos demográficos para las poblaciones dentro de los bloques censales que se muestran en la **Figura 18.** (Fuente: reportero del censo [10])

Número de tramo	Población	Edad promedio	Raza y etnicidad		Ingreso per cápita	Número de unidades de vivienda	Tipos de unidades de vivienda	
			%	Raza y etnicidad			%	Tipo de vivienda
1	1,291	46.8	82.1 %	Blancos	\$23,464	627	78 %	Pieza individual
			5.6 %	Negros			13 %	Propiedad vertical
			0.0 %	Nativos			9 %	Casa móvil
			0.0 %	Asiáticos			0 %	Barco, RV, furgoneta, etc.
			0.0 %	Isleños			X	
			0.0 %	Otros				
			4.3 %	Más de dos				
			8.0 %	Hispanos				
2	2,932	39.6	88.0 %	Blancos	\$32,557	918	93 %	Pieza individual
			7.1 %	Negros			0 %	Propiedad vertical
			0.0 %	Nativos			7 %	Casa móvil
			0.0 %	Asiáticos			X	
			0.0 %	Isleños				
			0.5 %	Otros				
			4.4 %	Más de dos				
			0.0 %	Hispanos				
3	1,241	46.4	80 %	Blancos	\$24,940	475	60 %	Pieza individual
			0 %	Negros			0 %	Propiedad vertical
			0 %	Nativos			37 %	Casa móvil
			0 %	Asiáticos			3 %	Barco, RV, furgoneta, etc.
			0 %	Isleños			X	
			0 %	Otros				
			1 %	Más de dos				
			19 %	Hispanos				
4	1,119	52.1	84 %	Blancos	\$34,148	601	71 %	Pieza individual
			3 %	Negros			11 %	Propiedad vertical
			3 %	Nativos			18 %	Casa móvil
			5 %	Asiáticos			0 %	Barco, RV, furgoneta, etc.
			0 %	Isleños			X	
			0 %	Otros				
			0 %	Más de dos				
			6 %	Hispanos				



U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board

Miembros de la U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board:

Steve Owens
Presidente

Sylvia E. Johnson, Ph.D.
Miembro

Catherine J. K. Sandoval
Miembro