



Reporte de investigación

Publicado: Diciembre 2023



PROBLEMAS DE SEGURIDAD:

- Punto simple de fallo
- Sistemas de alarma y monitoreo atmosférico
- Preparación para emergencias
- Sistema de gestión de la seguridad de procesos
- Administración de productos





Comisión de Seguridad e Investigación de Peligros Químicos de los Estados Unidos

La misión de la Comisión de Seguridad e Investigación de Peligros Químicos de los Estados Unidos (CSB, por sus siglas en inglés) 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, condiciones y circunstancias, y la causa o causa probable de cualquier fuga química accidental 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 liberaciones químicas accidentales.

Puede acceder a más información sobre la CSB y sus productos visitando el sitio web www.csb.gov o comunicándose con:

Comisión de Seguridad e Investigación de Peligros Químicos de los Estados Unidos
1750 Pennsylvania Ave. NW, Suite 910
Washington, DC 20006
(202) 261-7600

La CSB fue creada mediante las Enmiendas a la Ley de Aire Limpio de 1990, y la CSB fue financiada por primera vez y comenzó a operar en 1998. La CSB no es un organismo regulador ni de aplicación de la ley. Ninguna parte de las conclusiones, hallazgos o recomendaciones de la Comisión relacionadas con cualquier fuga accidental o su investigación serán admitidas como evidencia o utilizadas en cualquier acción o demanda por daños que surjan 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).

La fuga de nitrógeno líquido del 28 de enero de 2021 en Foundation Food Group causó lesiones mortales a seis personas:

José De Jesús Elías Cabrera

Corey Alan Murphy

Nelly Gisel Pérez Rafael

Saulo Suárez Bernal

Víctor Véllez

Edgar Vera García

CONTENIDO

ABREVIATURAS	5
RESUMEN EJECUTIVO.....	7
1 ANTECEDENTES	13
1.1 Empresas involucradas	13
1.1.1 <i>Foundation Food Group</i>	13
1.1.2 <i>Messer LLC</i>	13
1.2 Congelación de nitrógeno líquido en FFG	13
1.3 Proceso de congelación de la línea 4.....	14
1.4 Cuarto frío de la línea 4	17
1.5 División de responsabilidades entre FFG y Messer.....	18
1.6 Nitrógeno líquido	19
1.6.1 <i>Propiedades</i>	19
1.6.2 <i>Asfixia</i>	20
1.7 Nitrógeno líquido en el procesamiento de alimentos	20
1.8 Cobertura normativa	22
1.9 Descripción del área circundante	22
2 DESCRIPCIÓN DEL INCIDENTE.....	23
2.1 Problemas operativos	23
2.2 Día del incidente	24
2.2.1 <i>Fuga de nitrógeno líquido</i>	24
2.2.2 <i>Respuesta al incidente</i>	25
2.3 Consecuencias del incidente	27
3 ANÁLISIS TÉCNICO.....	28
4 PROBLEMAS DE SEGURIDAD	33
4.1 Punto simple de fallo	34
4.1.1 <i>Punto simple de fallo</i>	34
4.1.2 <i>El PHA en la fase de diseño de Linde</i>	35
4.1.3 <i>Control de calidad de fabricación</i>	39
4.1.4 <i>Acciones de Messer después del incidente</i>	42
4.2 Sistemas de alarma y monitoreo atmosférico.....	43

4.2.1	<i>Monitoreo atmosférico y alarmas en FFG</i>	43
4.2.2	<i>Orientación para la industria existente para sistemas de alarma y monitoreo atmosférico</i>	45
4.2.3	<i>Deficiencias en la orientación para la industria de los sistemas de alarma y monitoreo atmosférico</i>	50
4.3	Preparación para emergencias	54
4.3.1	<i>Requisitos normativos</i>	54
4.3.2	<i>Preparación ineficaz para emergencias</i>	55
4.3.3	<i>Acciones posteriores al incidente: preparación para emergencias</i>	58
4.3.4	<i>Paradas de emergencia</i>	58
4.3.5	<i>Orientación para la industria sobre la ubicación del interruptor de emergencia</i>	60
4.4	Sistema de gestión de la seguridad de procesos	64
4.4.1	<i>Prácticas ineficaces de gestión de la seguridad de procesos de FFG</i>	64
4.4.2	<i>Falta de regulación para los agentes asfixiantes criogénicos</i>	77
4.5	Administración de productos	86
4.5.1	<i>Prácticas de administración de productos de Messer</i>	86
4.5.2	<i>Administración ineficaz de productos</i>	88
4.5.3	<i>Acciones de Messer después del incidente</i>	93
5	CONCLUSIONES	96
5.1	Hallazgos.....	96
5.2	Causa	100
6	RECOMENDACIONES	101
6.1	Alimentos Gold Creek	101
6.2	Messer LLC	101
6.3	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos (OSHA).....	102
6.4	Asociación de Gas Comprimido (CGA).....	103
6.5	Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA).....	104
6.6	International Code Council (ICC).....	104
7	LECCIONES CLAVE PARA LA INDUSTRIA	105
8	REFERENCIAS	106
	APÉNDICE A—ANÁLISIS CAUSAL SIMPLIFICADO (ACCIMAP)	108
	APÉNDICE B—DESCRIPCIÓN DEL ÁREA CIRCUNDANTE	109

ABREVIATURAS

ACC	Consejo Estadounidense de Química
ANSI	Instituto Nacional de Normalización Estadounidense
CCPS	Centro para la Seguridad de Procesos Químicos
CFR	Código de Regulaciones Federales
CGA	Asociación de Gas Comprimido
CSB	Comisión de Seguridad e Investigación de Peligros Químicos de los Estados Unidos
EAP	plan de acción de emergencia
EHS	Salud y Seguridad Ambiental
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
ERP	plan de respuesta a emergencias
FFG	Foundation Food Group
HAZWOPER	Operaciones de Residuos Peligrosos y Respuesta de Emergencia
HMI	Interfaz Hombre-Máquina
HR	Recursos Humanos
HVAC	calefacción, ventilación y aire acondicionado
ISA	Sociedad Internacional de Automatización
ISO	Organización Internacional para la Normalización
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra Incendios
LEP	Programa de Énfasis Local
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos
PHA	análisis de peligros del proceso
PPE	equipo de protección personal
PSM	Gestión de la Seguridad de Procesos

RBPS	Seguridad de Procesos Basada en Riesgos
REP	Programa de Énfasis Regional
RMP	Programa de Gestión de Riesgos
ROEIV	Válvula de aislamiento de emergencia de activación remota
RTE	Listo para comer
SCBA	Equipo de respiración autónoma
SDS	Ficha de datos de seguridad

RESUMEN EJECUTIVO

El jueves 28 de enero de 2021, aproximadamente entre las 8:45 y las 10:15 a. m., el nitrógeno líquido se desbordó de un congelador por inmersión ubicado dentro del edificio de la planta 4 en las instalaciones de Foundation Food Group (FFG) en Gainesville, Georgia. La fuga comenzó mientras los trabajadores de mantenimiento solucionaban problemas operativos con el congelador, que fue diseñado y propiedad de Messer LLC (Messer) y alquilado a FFG. Una vez liberado, el nitrógeno líquido se vaporizó, expandió y acumuló rápidamente dentro de un cuarto parcialmente cerrado en el nivel inferior que carecía de ventilación mecánica. Los dos trabajadores de mantenimiento que estaban reparando el congelador en el momento de la fuga fallecieron a consecuencia de la asfixia debido al nitrógeno líquido vaporizado.

La fuga incontrolada de nitrógeno líquido continuó y los dos trabajadores de mantenimiento fallecidos pasaron desapercibidos durante 30 a 60 minutos, hasta que otro trabajador fue a buscarlos y vio una nube de vapor de cuatro a cinco pies de altura que llenaba el cuarto. Este trabajador informó del incidente a la administración, que luego inició una evacuación. Durante la evacuación posterior de todo el edificio, al menos otros 14 empleados de FFG, incluidos miembros de la administración, respondieron al incidente explorando el cuarto frío o intentando rescatar a sus compañeros de trabajo. Como resultado, cuatro empleados más de FFG fallecieron a consecuencia de la asfixia, y otros tres empleados de FFG y un bombero presentaron síntomas graves de asfixia.

Los documentos judiciales muestran que después del incidente, FFG demandó a su compañía de seguros por daños y perjuicios por aproximadamente 1.7 millones de dólares. Messer informó pérdidas comerciales y de propiedad de aproximadamente 245,000 dólares.

PROBLEMAS DE SEGURIDAD

La investigación de la CSB identificó los siguientes problemas de seguridad.

- **Punto simple de fallo.** El diseño del congelador por inmersión incluía un dispositivo llamado medidor de tipo burbujeo, que se utilizaba para medir el nivel de nitrógeno líquido dentro del congelador. El medidor de tipo burbujeo probablemente se dobló durante la actividad de mantenimiento, lo que le impidió medir y controlar el nivel de nitrógeno líquido del congelador. Como resultado, el nitrógeno líquido se desbordó del congelador y llenó el cuarto con nitrógeno vaporizado. Este diseño era vulnerable a un punto simple de fallo. Una vez que el medidor se dobló, no había nada más que impidiera la fuga de nitrógeno líquido. El equipo de diseño no consideró adecuadamente las consecuencias de la falla del medidor de tipo burbujeo (un componente de seguridad crítico) y no identificó salvaguardias apropiadas para mitigar su posible falla. Además, durante la fabricación del congelador por inmersión, Messer no pudo detectar un defecto de fabricación que exacerbó la posibilidad de que el medidor de tipo burbujeo se doblara: faltaba una abrazadera destinada a asegurar el medidor de tipo burbujeo al congelador. ([Sección 4.1](#))
- **Sistemas de alarma y monitoreo atmosférico.** Existe abundante orientación para la industria sobre la importancia del monitoreo atmosférico cuando existe la posibilidad de que se produzcan atmósferas peligrosas. Sin embargo, FFG no instaló equipos de monitoreo atmosférico en el cuarto frío. Como tal, no se instaló ningún equipo para detectar la atmósfera deficiente en oxígeno en el cuarto frío, cerrar automáticamente el suministro de nitrógeno líquido y notificar al personal para que evacuara el área. ([Sección 4.2](#))
- **Preparación para emergencias.** FFG no informó, capacitó, equipó, perforó ni preparó de otro modo a su fuerza laboral para una fuga de nitrógeno líquido. La fuerza laboral de FFG carecía de conocimiento sobre los peligros del nitrógeno y su capacidad para crear una atmósfera con deficiencia de oxígeno, no podía reconocer una atmósfera con deficiencia de oxígeno y carecía de cualquier aparato o PPE que hubiera permitido la entrada segura a una atmósfera con deficiencia de oxígeno. Como resultado, tras el descubrimiento de los dos primeros

trabajadores fallecidos, otros cuatro empleados que entraron en el cuarto frío también murieron por asfixia debido al nitrógeno liberado durante los intentos de respuesta o rescate. Otros tres empleados respondieron y resultaron con lesiones de gravedad. Al menos otros siete empleados respondieron y no resultaron con lesiones de gravedad, pero corrían riesgo de asfixia con nitrógeno debido a su proximidad a la fuga. FFG tampoco interactuó de manera proactiva con los socorristas locales antes del incidente, a pesar de depender de ellos para responder a las emergencias en su establecimiento. ([Sección 4.3](#))

- **Sistema de gestión de la seguridad de procesos.** FFG no tenía una política documentada de la gestión de la seguridad de procesos, permitió que el puesto de trabajo responsable de la gestión de seguridad estuviera vacante durante más de un año antes del incidente, no evaluó los riesgos de proceso asociados con el congelador, carecía de procedimientos escritos y de un proceso de gestión de cambios, y no capacitó a sus trabajadores sobre los riesgos de asfixia del nitrógeno líquido. A pesar de la sólida orientación para la industria sobre los sistemas de gestión de la seguridad de procesos, la ley no exigía que FFG los implementara. Como resultado de la falta de regulaciones específicas para los agentes asfixiantes criogénicos, FFG no implementó sistemas y prácticas que pudieran haber reducido la gravedad del incidente o haber evitado la fuga accidental por completo. ([Sección 4.4](#))
- **Administración de productos.** Messer era el propietario de los tanques de almacenamiento a granel de nitrógeno líquido y del congelador en espiral por inmersión de la línea 4 y alquiló el equipo a FFG. En el momento del incidente, Messer tenía conocimientos, experiencia, políticas y prácticas institucionales para una administración eficaz del producto, pero aplicó esas prácticas solo a los tanques de almacenamiento a granel y no al proceso de congelación de la línea 4. A lo largo de su relación con FFG, Messer había identificado problemas con las prácticas de seguridad de FFG y el incumplimiento de la orientación para la industria, pero a pesar de las prácticas inseguras de FFG, Messer continuó suministrando nitrógeno líquido a FFG. Si Messer hubiera suspendido el servicio hasta que FFG corrigiera las deficiencias de seguridad conocidas, es posible que se hubiera evitado este incidente. ([Sección 4.5](#))

CAUSA

La CSB determinó que la causa de la fuga de nitrógeno líquido fue la falla del sistema de control de nivel de líquido del congelador por inmersión para medir y controlar con precisión el nivel de nitrógeno líquido dentro del congelador, lo que resultó de la deformación del componente del medidor de tipo burbujeo del sistema.

Los siguientes factores contribuyeron al incidente: 1) el diseño del congelador de Messer, que permitió que la falla de un solo dispositivo de medición de nivel resultara en una pérdida incontrolada de contención de nitrógeno líquido; 2) la falta de prácticas o sistemas de gestión de la seguridad de procesos por parte de FFG que podrían haber prevenido el incidente; 3) una falta de cobertura normativa para el nitrógeno líquido, lo que permitió a FFG optar por no implementar prácticas de seguridad de procesos que podrían haber evitado el incidente; y 4) las prácticas inadecuadas de administración de productos de Messer, que resultaron en que Messer continuara suministrando nitrógeno líquido a FFG a pesar de las prácticas inseguras de FFG.

Los siguientes factores contribuyeron a la gravedad del incidente: 1) la preparación inadecuada para emergencias de FFG, lo que dio como resultado que al menos 14 empleados respondieran a la fuga ingresando al cuarto frío o al área circundante para investigar el incidente o intentar rescatar a sus compañeros de trabajo; y 2) la ausencia de dispositivos de alarma y monitoreo atmosférico que pudieran haber alertado a los trabajadores sobre la presencia de una atmósfera peligrosa y advertirles contra el ingreso a ella.

RECOMENDACIONES

A Gold Creek Foods (actual propietario de las instalaciones de FFG)^a

2021-03-I-GA-R1

Incluir en el programa de acción de emergencia disposiciones para interactuar proactivamente e informar a los recursos locales de respuesta a emergencias sobre todas las emergencias en las antiguas instalaciones de la planta 4 de FFG a las que Gold Creek espera que respondan. Como mínimo, Gold Creek debería:

- a) informar a los socorristas locales sobre la existencia, naturaleza y ubicación de sustancias peligrosas en sus instalaciones, incluido el nitrógeno líquido;
- b) informar a los socorristas locales sobre la ubicación de los equipos críticos para emergencias, como tanques de almacenamiento a granel, puntos de uso, válvulas de aislamiento, interruptores de apagado de emergencia y cualquier otro equipo o sistema de emergencia con el que los socorristas puedan necesitar interactuar; y
- c) proporcionar a los socorristas locales información, como planos de localización, dibujos de ingeniería u otra información necesaria para montar una respuesta de emergencia eficaz.

A Messer LLC^b

2021-03-I-GA-R2

Actualizar la política de administración de productos de la empresa para:

- a) incluir la participación de Messer en los análisis de peligros del proceso (PHA, por sus siglas en inglés) de los clientes. La política debe exigir que estos PHA se realicen de manera que cumplan con las *Directrices para los procedimientos de evaluación de peligros* del Centro para la Seguridad de Procesos Químicos (CCPS, por sus siglas en inglés) antes del inicio de un proceso de congelación criogénica;
- b) exigir la verificación de que se muestre la señalización adecuada, de acuerdo con la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA, en el equipo o cerca de este; y,
- c) requerir una revisión de la ubicación del establecimiento o equipos para garantizar que los interruptores de emergencia, incluidas las paradas de emergencia, estén ubicados de manera que puedan accionarse de manera segura durante una fuga de nitrógeno líquido.

^aGold Creek ha desarrollado procedimientos de respuesta a emergencias que podrían haber reducido la gravedad de este incidente. En consecuencia, la CSB no hace recomendaciones a Gold Creek relacionadas con el desarrollo de políticas de preparación para emergencias o capacitación de empleados para su programa de acción de emergencia. Además, a partir de la publicación de este informe, no existen procesos de congelación de nitrógeno líquido en el antiguo edificio de la planta 4 de FFG que ahora opera Gold Creek. En consecuencia, la CSB no hace ninguna recomendación a Gold Creek relacionada con la ventilación o las prácticas de gestión de la seguridad de procesos para procesos de nitrógeno líquido.

^bDespués del incidente, Messer revisó el diseño de su congelador para incluir múltiples capas de protección contra el desbordamiento de nitrógeno líquido. Messer también revisó su proceso y procedimientos de control de calidad para exigir la verificación de la presencia de las abrazaderas del medidor de tipo burbujeo necesarias y reordenó la secuencia de pasos de inspección para facilitar esta verificación. En consecuencia, la CSB no hace ninguna recomendación a Messer con respecto al diseño de sus congeladores por inmersión o su proceso de control de calidad.

2021-03-I-GA-R3

Crear un material informativo que proporcione a los clientes de Messer información sobre los problemas de seguridad descritos en este informe. En este material informativo, recomendamos que los clientes de Messer desarrollen e implementen sistemas de gestión de seguridad eficaces para controlar los riesgos de asfixia por gases inertes basados en la guía publicada en la P-86 *Guía para la gestión de la seguridad de procesos* de la CGA, la P-12 *Guía para el manejo seguro de líquidos criogénicos y refrigerados* de la CGA, la P-18 *Estándar para sistemas de gas inerte a granel* de la CGA y la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA.

A la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos**2021-03-I-GA-R4**

Actualizar el Programa de Énfasis Regional de instalaciones de procesamiento de aves de la Región 4 para cubrir explícitamente los procesos de congelación con nitrógeno líquido. Como mínimo, la actualización debe fomentar prácticas aplicables a la gestión de los peligros del uso de nitrógeno líquido y otros agentes asfixiantes criogénicos, incluidas prácticas de gestión de la seguridad de procesos, monitoreo atmosférico, capacitación de empleados y concienciación acerca de los peligros, y preparación y respuesta ante emergencias.

2021-03-I-GA-R5

Actualizar el Programa de Énfasis Regional de la Región 5 para la Industria de Fabricación de Alimentos para cubrir explícitamente los procesos de congelación con nitrógeno líquido. Como mínimo, la actualización debe fomentar prácticas aplicables a la gestión de los peligros del uso de nitrógeno líquido y otros agentes asfixiantes criogénicos, incluidas prácticas de gestión de la seguridad de procesos, monitoreo atmosférico, capacitación de empleados y concienciación acerca de los peligros, y preparación y respuesta ante emergencias.

2021-03-I-GA-R6

Actualizar el Programa de Énfasis Regional de instalaciones de procesamiento de aves de la Región 6 para cubrir explícitamente los procesos de congelación con nitrógeno líquido. Como mínimo, la actualización debe fomentar prácticas aplicables a la gestión de los peligros del uso de nitrógeno líquido y otros agentes asfixiantes criogénicos, incluidas prácticas de gestión de la seguridad de procesos, monitoreo atmosférico, capacitación de empleados y concienciación acerca de los peligros, y preparación y respuesta ante emergencias.

2021-03-I-GA-R7

Promulgar una norma específica para los agentes asfixiantes criogénicos. El propósito de esta norma será la prevención o mitigación de los peligros que surgen del almacenamiento, uso o manipulación de estas sustancias. La nueva norma hará referencia a las normas de consenso nacional aplicables, como las publicadas por la Asociación de Gas Comprimido (Compressed Gas Association) y otras, según corresponda. Como mínimo, la nueva norma deberá:

- a) Abordar los requisitos para el diseño, construcción e instalación de equipos de proceso que almacenen o utilicen agentes asfixiantes criogénicos;
- b) Requerir monitoreo atmosférico donde el equipo que almacena o usa agentes asfixiantes criogénicos está ubicado en interiores;
- c) Exigir sistemas de apagado de emergencia tales que los equipos que almacenen o utilicen agentes asfixiantes criogénicos puedan aislarse sin peligro durante una fuga;

- d) Abordar los requisitos para la capacitación de los empleados y la concientización acerca de los peligros específicos de los agentes asfixiantes criogénicos;
- e) Requerir un plan de acción de emergencia de acuerdo con la sección 1910.38 del Título 29 del Código de Regulaciones Federales (CFR, por sus siglas en inglés); y
- f) Abordar los requisitos para el uso de elementos de gestión de la seguridad de procesos, como análisis de peligros del proceso, gestión de cambios, procedimientos y otros que se consideren necesarios a través del proceso de elaboración de normas para prevenir o mitigar estos peligros.

2021-03-I-GA-R8

Desarrollar y publicar un Documento guía (similar a 3912-03 *Gestión de la seguridad de procesos para la fabricación de explosivos y pirotecnia* de la OSHA) para las prácticas de gestión de la seguridad de procesos aplicables a procesos que manejan gases comprimidos y agentes asfixiantes criogénicos, incluidas (como mínimo) las prácticas destacadas en este informe.

A la Asociación de Gas Comprimido

2021-03-I-GA-R9

Desarrollar una norma integral para el almacenamiento, manejo y uso seguro de nitrógeno líquido en instalaciones fijas, comparable a la guía presentada en la G-6.5 *Estándar para pequeños sistemas estacionarios de suministro de dióxido de carbono aislados* de la CGA. Como mínimo, la norma debería incluir:

- a) requisitos y guía sobre la ubicación, el mantenimiento y las pruebas funcionales de los dispositivos de monitoreo atmosférico;
- b) requisitos para indicación de alarma visible y audible distinta del sistema de alarma contra incendios del edificio y en una ubicación con asistencia continua;
- c) guía sobre el tamaño, diseño, función, mantenimiento y pruebas periódicas y ubicación de los sistemas de ventilación de emergencia y de los cuartos; y
- d) requisitos y guía sobre la ubicación de los dispositivos de apagado de emergencia, incluidas las paradas de emergencia.

2021-03-I-GA-R10

Actualizar la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno*. Como mínimo, la norma actualizada debería:

- a) exigir que los sistemas de monitoreo atmosférico *se utilicen* con procesos, equipos y sistemas de tuberías capaces de detectar atmósferas deficientes en oxígeno;
- b) exigir que los sistemas de monitoreo atmosférico proporcionen indicaciones de alarma visibles y audibles distintas del sistema de alarma contra incendios de un edificio y en una ubicación con asistencia continua;
- c) exigir que los procesos, equipos y sistemas de tuberías capaces de producir atmósferas deficientes en oxígeno *estén* equipados con válvulas de aislamiento de emergencia de activación remota (ROEIV, por sus siglas en inglés); e

- d) incluir una guía sobre la ubicación segura y adecuada de los dispositivos de parada de emergencia. Como mínimo, esta guía debe armonizarse con los requisitos de la norma ISO 13850 *Seguridad de las máquinas – Función de parada de emergencia – Principios para el diseño*. Según sea necesario, aumentar la guía general de la norma ISO 13850 con una guía específica para procesos, equipos y tuberías que utilizan los agentes asfixiantes criogénicos y los gases inertes.

A la Asociación Nacional de Protección contra Incendios

2021-03-I-GA-R11

Actualizar la NFPA 55 *Código de gases comprimidos y fluidos criogénicos* para:

- a) requerir el uso de monitoreo atmosférico con agentes asfixiantes criogénicos de acuerdo con la orientación para la industria, como la contenida en la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA y la P-12 *Manejo seguro de líquidos criogénicos* de la CGA, además de la P-18 *Estándar para sistemas de gas inerte a granel* de la CGA; e
- b) incluir la guía sobre la ubicación segura y adecuada de válvulas de cierre manual y dispositivos como botones pulsadores de emergencia utilizados para activar válvulas de aislamiento de emergencia de activación remota (ROEIV). Como mínimo, esta guía debe armonizarse con los requisitos de la norma ISO 13850 *Seguridad de las máquinas – Función de parada de emergencia – Principios para el diseño*.

Al Consejo del Código Internacional

2021-03-I-GA-R12

Actualizar el Código Internacional de Protección contra Incendios para:

- a) requerir el uso de monitoreo atmosférico con agentes asfixiantes criogénicos de acuerdo con la orientación para la industria, como la contenida en la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA y la P-12 *Manejo seguro de líquidos criogénicos* de la CGA, además de la P-18 *Estándar para sistemas de gas inerte a granel* de la CGA; e
- b) incluir la guía sobre la ubicación segura y adecuada de válvulas de cierre manual y dispositivos como botones pulsadores de emergencia utilizados para activar válvulas de aislamiento de emergencia de activación remota (ROEIV) en servicios de fluidos criogénicos. Como mínimo, esta guía debe armonizarse con los requisitos de la norma ISO 13850 *Seguridad de las máquinas – Función de parada de emergencia – Principios para el diseño*.

1 ANTECEDENTES

1.1 EMPRESAS INVOLUCRADAS

1.1.1 FOUNDATION FOOD GROUP

Foundation Food Group (FFG) era una empresa procesadora de aves ubicada en Gainesville, Georgia, formada por la unión de Prime-Pak Foods, Inc. (Prime-Pak)^a y Victory Processing, Inc. (Victory Processing)^b en septiembre de 2020. Antes de la unión, las dos empresas eran socias en una empresa conjunta desde 2018. Prime-Pak operaba en lo que se conocía como las instalaciones de la planta 4 de FFG, que se analiza más adelante en la sección 1.2 siguiente, frente a Victory Processing.

En el momento del incidente, aproximadamente 135 empleados trabajaban en las instalaciones de la planta 4 de FFG. La mayoría de la fuerza laboral de FFG no hablaba inglés como idioma principal o no hablaba inglés.

Tras el incidente, en octubre de 2021, Gold Creek Foods (Gold Creek) adquirió FFG.

1.1.2 MESSER LLC

Messer LLC (Messer) se formó en marzo de 2019, cuando Messer Group y CVC Capital Partners Fund VII (CVC) adquirieron la mayor parte del negocio de gases norteamericano de Linde plc (Linde) [1].^c Messer, con sede en Bridgewater, Nueva Jersey, es un proveedor de instalaciones y tecnología de gases industriales y especiales para las industrias industrial, alimentaria, médica, química y electrónica [2]. Messer suministró nitrógeno líquido a granel a FFG y diseñó^d y fue propietario del sistema de congelación en espiral por inmersión en nitrógeno líquido, que FFG alquilaba y operaba para congelar productos avícolas.

1.2 CONGELACIÓN DE NITRÓGENO LÍQUIDO EN FFG

Tras la fusión entre Prime-Pak y Victory Processing, FFG poseía cuatro plantas procesadoras de aves en Gainesville, Georgia. Las antiguas instalaciones de Prime-Pak se convirtieron en la planta 4 de FFG, que albergaba cinco líneas de producción, denominadas Líneas 1 a 5.

Antes de 2020, Prime-Pak y FFG utilizaban sistemas de congelación de amoníaco en la planta 4 para congelar productos avícolas. A principios de 2020, FFG comenzó a introducir los sistemas de congelación de nitrógeno líquido de Messer en la planta 4 para aumentar la capacidad de producción.^e FFG y Messer trabajaron en colaboración durante varios meses para preparar la incorporación de los sistemas de congelación de nitrógeno líquido. Messer y FFG^f celebraron un acuerdo de suministro de productos para el alquiler de dos tanques de nitrógeno líquido a granel de 13,000 galones, un suministro rutinario de nitrógeno líquido y un congelador en espiral de nitrógeno. Los tanques de almacenamiento se instalaron fuera

^aPrime-Pak se formó como Milton's Portion-Pak Meats, Inc. en 1973.

^bVictory Processing se formó en 2006.

^cSe requirió que Linde vendiera este negocio como parte de su fusión de 2018 con Praxair, Inc [49].

^dEl congelador en espiral por inmersión fue diseñado por Linde antes de la adquisición de Messer, momento en el que Messer adquirió los activos de congeladores de Linde en Norteamérica.

^eAl realizar la transición del congelador en espiral de amoníaco al proceso de congelador en espiral por inmersión en nitrógeno líquido, FFG estimó que obtendría un aumento del 7 % en el rendimiento de su producto cortado en cubitos y eliminaría los problemas operativos experimentados con el congelador de amoníaco.

^fEn el momento en que se firmó el acuerdo de suministro de productos, FFG aún no se había formado, por lo que Prime-Pak Foods figura en el acuerdo.

de las instalaciones de FFG y el congelador en espiral se instaló en la línea 2 de la planta 4 en mayo de 2020. El proceso de la línea 2 entró en servicio a finales de ese mes.

En julio de 2020, el acuerdo se modificó para incluir el alquiler de un tanque adicional de nitrógeno líquido a granel de 13,000 galones y un congelador en espiral por inmersión en nitrógeno líquido que se usará en la línea 4. La instalación del tanque de almacenamiento adicional y del congelador en espiral por inmersión comenzó el 5 de diciembre de 2020.

El 13 de diciembre de 2020, FFG agregó paredes al cuarto frío de la línea 4 donde se instaló el congelador para separar el congelador en espiral por inmersión de las áreas adyacentes de la planta. Además, FFG construyó una “cámara estéril” frente al equipo (**Figura 1**).^a Poco después, el 16 de diciembre de 2020, se completó la instalación del congelador en espiral por inmersión y la producción en la línea 4 comenzó al día siguiente, aproximadamente cinco semanas antes del incidente fatal.

1.3 PROCESO DE CONGELACIÓN DE LA LÍNEA 4

Las instalaciones de la planta 4 de FFG (**Figura 1**) estaban compuestas de cinco líneas de producción que elaboraban diversos productos de pollo cocidos, parcialmente cocidos y marinados [3]. Las cintas transportadoras transferían el pollo a través de equipos de producción, como hornos, freidoras, congeladores y empacadoras, en cada línea de producción. La línea 4, donde ocurrió la fuga, procesaba productos de pollo cocido.

El edificio de la planta 4 se dividió en dos áreas de procesamiento: el área de “alimentos crudos” y el área de alimentos “Listos para comer” (RTE, por sus siglas en inglés).^b El proceso de la línea 4 comenzaba en el área de crudo con marinado y cocción, luego continuaba hasta el área RTE, que contenía una cortadora de cubitos, un congelador y un equipo de empaquetado. Los trabajadores midieron las temperaturas del producto en varias etapas a lo largo de la línea para garantizar que el producto cumpliera con las especificaciones de seguridad alimentaria. La producción se detenía al final de cada jornada laboral y se reiniciaba a la mañana siguiente.

^a Este fue un proyecto separado del proyecto del congelador de la línea 4. La cámara estéril, también conocida como área para cambiarse de batas, permitiría a los trabajadores cruzar entre las áreas de alimentos crudos y RTE (Sección 1.3) sin tener que caminar alrededor del edificio. La nueva cámara estéril todavía no estaba puesta en servicio en el momento del incidente.

^b La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) define RTE como un alimento para el cual es razonablemente previsible que se consuma sin ningún procesamiento adicional que minimice significativamente los peligros biológicos [48]. La planta está separada en dos áreas de procesamiento para minimizar o prevenir la contaminación de los RTE con bacterias que causan enfermedades, como la *Listeria*[53].

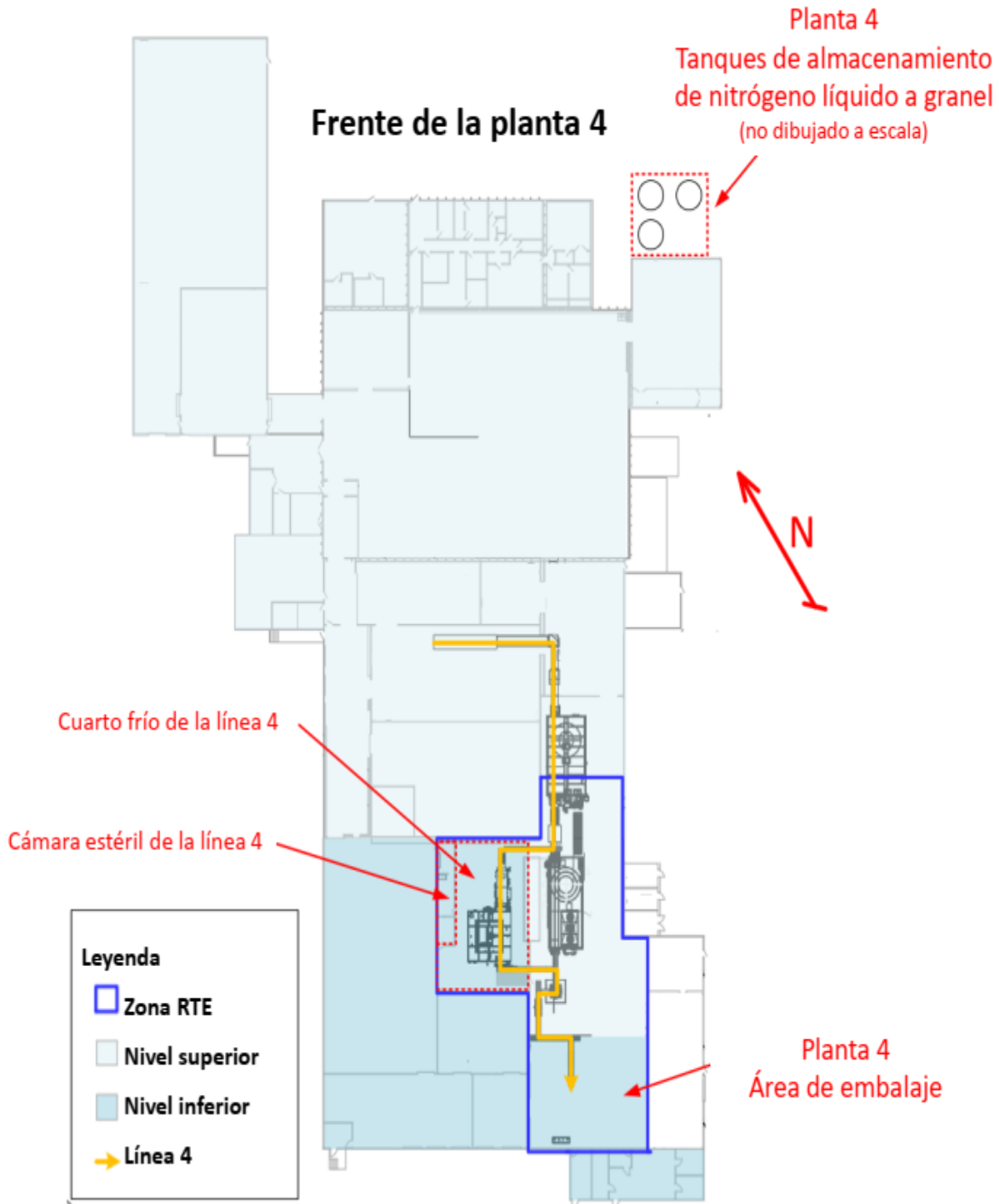


Figura 1. Plano de localización de las instalaciones de la planta 4 de FFG. La línea amarilla indica el flujo del proceso de la línea 4 el día del incidente. (Crédito: FFG con anotaciones de la CSB)

El proceso de congelación en espiral por inmersión en nitrógeno líquido de la línea 4 de^a Messer (**Figura 2**) se producía en dos etapas. En la primera etapa, una cinta transportadora llevaba el pollo cortado en cubitos completamente cocido a un

^a El congelador en espiral por inmersión constaba de dos congeladores discretos (un congelador por inmersión y un congelador en espiral) conectados en serie.

congelador por inmersión donde se congelaba parcialmente en un baño de nitrógeno líquido a $-320\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$). Luego, el pollo pasaba a través de una caja de transición a la segunda etapa, donde una cinta transportadora transportaba el pollo cortado en cubitos parcialmente congelado a través del congelador en espiral mientras ventiladores internos hacían circular nitrógeno líquido vaporizado dentro del congelador para completar el proceso de congelación. El pollo congelado salía del congelador en espiral y era empaquetado y enviado a los clientes.

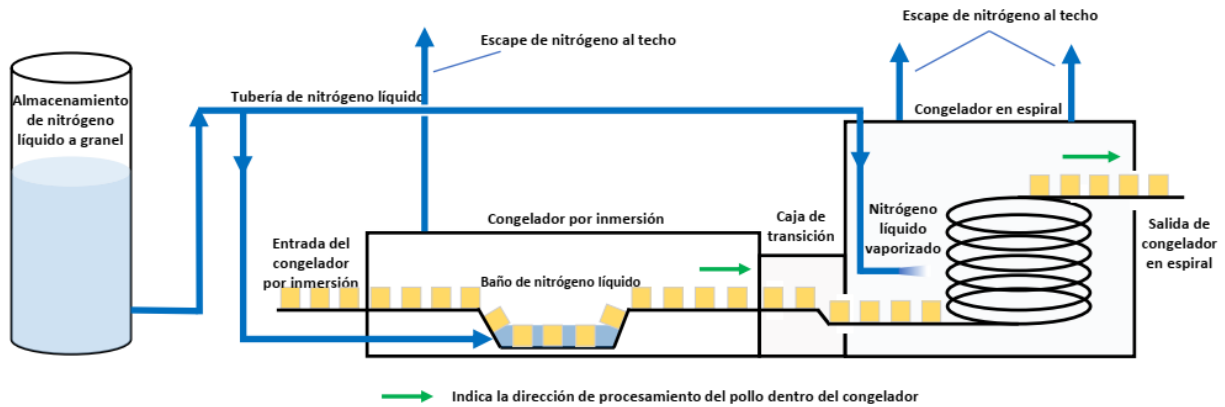


Figura 2. Esquema conceptual del sistema de congelación de nitrógeno líquido de la línea 4, no dibujado a escala. (Crédito: Messer, anotaciones de la CSB)

Los sistemas de escape conectados tanto a los congeladores por inmersión como a los congeladores en espiral dirigían el gas nitrógeno desde el interior de los congeladores hacia el exterior del edificio a través de conductos de descarga en el techo.

Las válvulas de control regulaban el flujo de nitrógeno líquido desde los tanques de almacenamiento fuera del edificio a través de tuberías a lo largo del techo y hacia cada congelador. Los trabajadores de FFG utilizaban un sistema de control por computadora con pantallas táctiles, llamado Interfaz Hombre-Máquina (HMI, por sus siglas en inglés), para establecer los parámetros operativos del sistema de congelación, como el nivel de nitrógeno líquido dentro del congelador por inmersión, las velocidades de la cinta transportadora y las velocidades del extractor. La programación del sistema de control por computadora incluía interbloqueos de seguridad para evitar automáticamente fugas involuntarias y peligrosas de nitrógeno líquido, que podían activarse mediante el sistema de control midiendo un nivel alto de líquido o presionando los botones de parada de emergencia ubicados en el exterior del congelador. El sistema de control midió el nivel de líquido en el congelador por inmersión utilizando un dispositivo llamado medidor de tipo burbujeo, que se analiza con más detalle en la Sección 3.

Para permitir el acceso al interior del congelador por inmersión, el congelador también estaba equipado con una tapa que se podía levantar y la caja de transición tenía una puerta que se podía abrir. La tapa y la puerta estaban equipadas con interruptores de proximidad permisivos o interruptores de seguridad. Según lo diseñado, cuando la tapa y la puerta estuvieran cerradas, los interruptores de seguridad permitirían que el congelador funcionara normalmente. Si los interruptores de seguridad perdían la proximidad (lo que significa que la puerta estaba abierta o la tapa estaba levantada), el sistema del congelador estaba diseñado para cerrar el suministro de nitrógeno líquido a los congeladores y aumentar la velocidad de los ventiladores de extracción de nitrógeno.

1.4 CUARTO FRÍO DE LA LÍNEA 4

1.5 EN LA FIGURA 3 A CONTINUACIÓN SE ILUSTRA EL DISEÑO DEL CUARTO FRÍO DE LA LÍNEA 4 DE FFG.

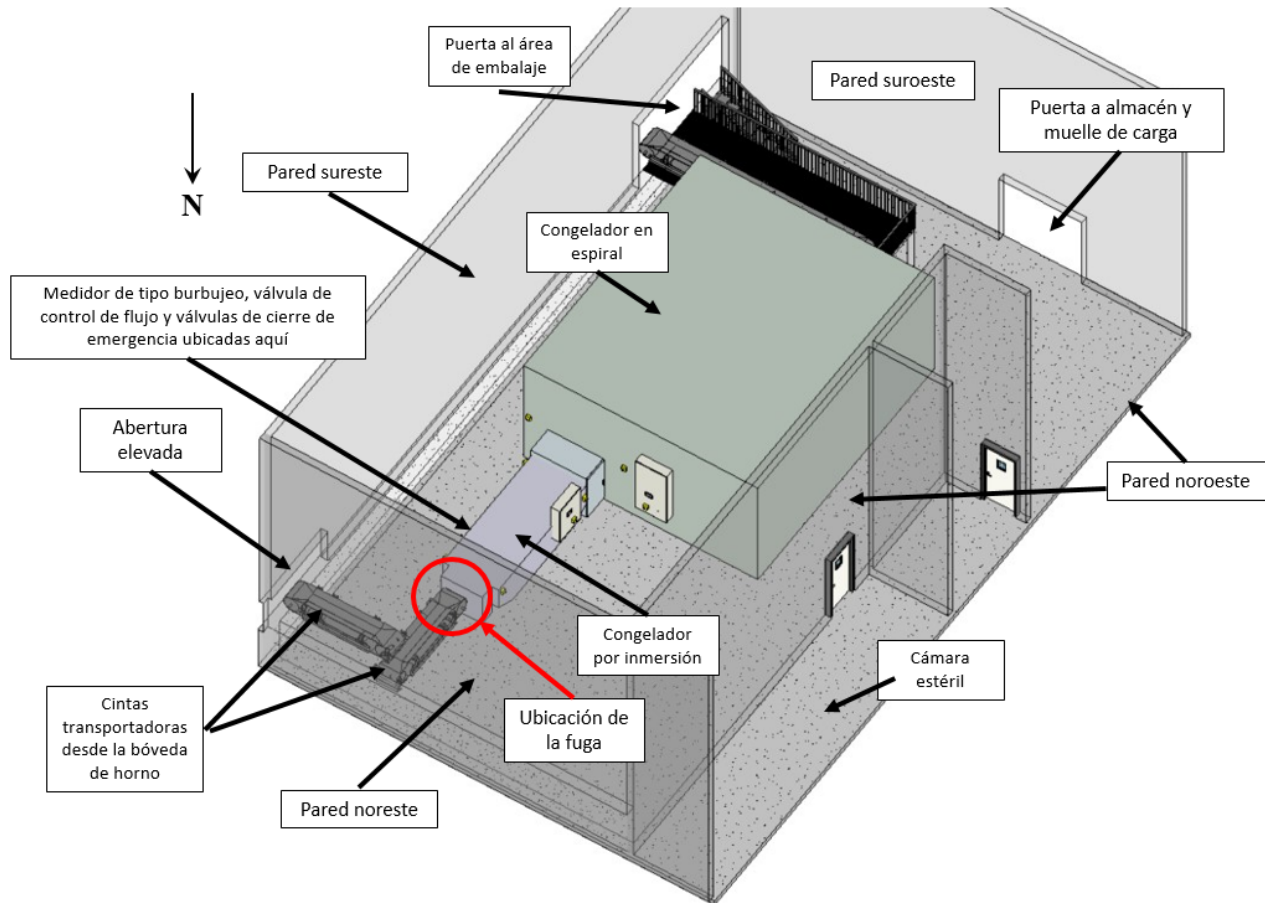


Figura 3. Esquema del cuarto frío de la línea 4 de FFG. (Crédito: CSB)

En total, el cuarto tenía cuatro aberturas. En la pared sureste había una abertura elevada a través de la cual unas cintas transportadoras llevaban el producto desde la bóveda de horno al cuarto frío. También en la pared sureste había una gran puerta abierta al área de embalaje. Ambas aberturas en la pared sureste estaban elevadas aproximadamente a cinco pies del piso del cuarto frío. En la pared suroeste, había una gran puerta abierta que conducía al almacén y al área del muelle de carga. Esta puerta contenía pesadas cortinas de plástico que separaban el cuarto frío del almacén y el muelle de carga. En la pared noroeste, había una única puerta que separaba el cuarto frío de la cámara estéril. No había aberturas en la pared noreste.

Los cuartos adyacentes al cuarto frío de la línea 4 en los lados noreste y sureste se elevaban aproximadamente cinco pies por encima del nivel del suelo en el cuarto frío (**Figura 4**). Los cuartos adyacentes en los lados suroeste y noroeste estaban a la misma altura del piso que el cuarto frío. Por lo tanto, el cuarto estaba empotrado debajo de los cuartos adyacentes en dos lados y al mismo nivel que los cuartos adyacentes en los otros dos lados. Al final, por debajo de la altura de cinco pies, el cuarto quedaba casi completamente cerrado. Las únicas aberturas en el cuarto por debajo de cinco pies de altura eran una puerta de tamaño estándar en la pared noroeste y una puerta grande en la pared suroeste que estaba parcialmente obstruida por pesadas cortinas de plástico.

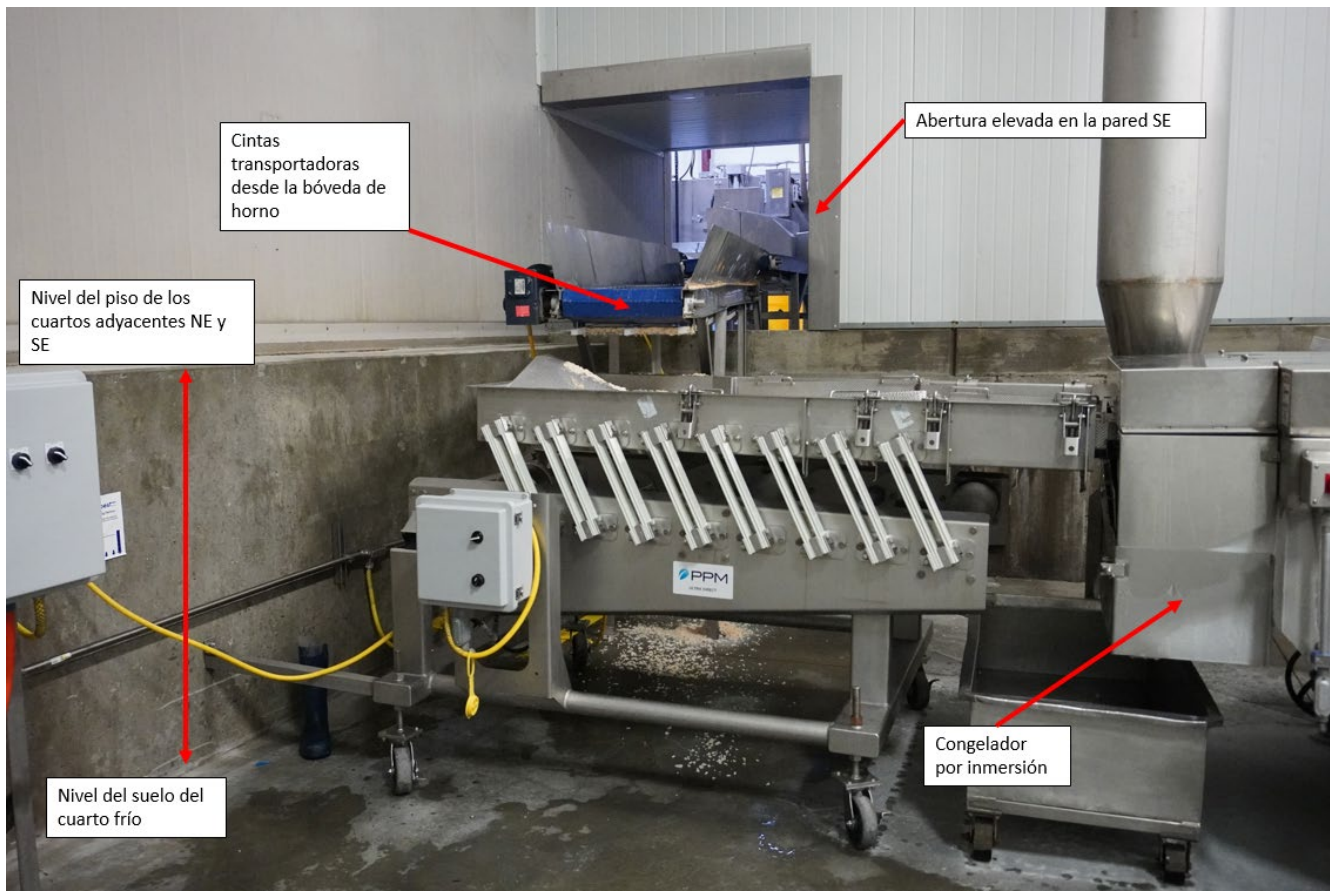


Figura 4. Foto que muestra la diferencia de elevación entre el cuarto frío de la línea 4 y los cuartos adyacentes en los lados noreste y sureste. (Crédito: CSB)

El aire circulaba por el cuarto a través de las cuatro aberturas descritas anteriormente. El cuarto no tenía ventilación mecánica ni calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés), aunque los congeladores en espiral por inmersión contenían sistemas de escape diseñados para eliminar el nitrógeno vaporizado del funcionamiento normal de los congeladores (descrito anteriormente en la Sección 1.3 y **Figura 2**).

1.6 DIVISIÓN DE RESPONSABILIDADES ENTRE FFG Y MESSER

Como parte del acuerdo de suministro de FFG y Messer, Messer retuvo la propiedad^a de los tanques de nitrógeno líquido a granel, el congelador en espiral de la línea 2 y el equipo de congelador en espiral por inmersión de la línea 4. Messer también suministraba nitrógeno líquido a FFG y realizaba el mantenimiento e inspección de los tanques a granel. FFG era responsable del mantenimiento del sitio del equipo; garantizar que el sitio cumpliera con las regulaciones ambientales y de seguridad; proporcionar los servicios públicos, tuberías y conexiones necesarios para el uso del equipo; proporcionar una seguridad adecuada; y mantener el equipo de congelación según las instrucciones de Messer.

Las empresas resumieron la división de responsabilidades como se muestra en la **Figura 5**.

^a FFG alquiló el equipo a Messer.

Responsabilidad de la tarea		
Firmar convenios	X	X
Estudio del sitio para la ubicación de plataformas y tanques	X	
Plataforma del tanque (Messer proporcionará el plano de especificaciones)		X
Transporte de tanques y aparejos	X	
Valla, iluminación, línea telefónica exclusiva (si es necesario)		X
Todas las penetraciones y sellados del edificio		X
Despejado para su instalación		X
Todas las conexiones eléctricas al equipo y escape		X
Tuberías de nitrógeno líquido y gaseoso desde el tanque al equipo	X	X
Sistema de escape	X	
Proporcionar suministro de aire al equipo si es necesario		X
Todas las válvulas criogénicas de nitrógeno líquido	X	
Todo requiere aire de reposición		X
Control del ventilador de escape: VFD, fuente de alimentación, etc.	X	
Cualquier permiso de construcción requerido		X
Cualquier modificación en la línea de procesamiento, transportadores, etc.		X
Capacitación en seguridad de productos de nitrógeno líquido	X	
Optimización inicial del sistema	X	
Operación segura y saneamiento del equipo		X
Mantenimiento de equipo		X
Aislamiento del conducto de escape si es necesario		X

*El cuadro de responsabilidad de tareas no indica responsabilidad de costos

Figura 5. División de responsabilidades del congelador de nitrógeno líquido entre Messer y FFG (Crédito: FFG, anotaciones de la CSB)

1.7 NITRÓGENO LÍQUIDO

1.7.1 PROPIEDADES

El nitrógeno es un gas inerte, incoloro, inodoro, no inflamable, no tóxico y que abunda en el aire.^a En condiciones específicas de temperatura y presión,^b el nitrógeno es un líquido criogénico, que además es incoloro, inodoro, no inflamable y no tóxico.

El nitrógeno líquido hierve a -320 °F (-196 °C) a presión atmosférica. Produce grandes volúmenes de gas nitrógeno cuando se vaporiza [4]. El gas nitrógeno se mezcla fácilmente con el aire a temperatura ambiente; sin embargo, el gas nitrógeno frío es más denso que el aire y puede sedimentarse y acumularse en zonas bajas [4]. El contacto con nitrógeno líquido o gas

^a El nitrógeno constituye aproximadamente el 78 % de la atmósfera terrestre [52].

^b Un líquido criogénico es un gas licuado refrigerado con un punto de ebullición inferior a -130 °F (-90 °C) a presión atmosférica [5, p. 2].

nitrógeno frío puede provocar quemaduras graves por frío, congelación e hipotermia.^a La respiración prolongada de gas extremadamente frío puede dañar el tejido pulmonar.

1.7.2 ASFIXIA

El nitrógeno líquido tiene una relación de expansión de líquido a gas de 1 a 696 a 70 °F (21 °C), lo que significa que el nitrógeno gaseoso se expandirá para llenar el volumen de un espacio 696 veces mayor que su volumen cuando esté en fase líquida [5, p. 5]. Altas concentraciones de gas nitrógeno en un área cerrada desplazarán el oxígeno, creando una atmósfera deficiente en oxígeno. Las atmósferas que contienen menos del 19.5 % de oxígeno se consideran deficientes en oxígeno y pueden causar una variedad de efectos en el cuerpo humano, como se muestra en la **Figura 6**. Las atmósferas que contienen concentraciones de oxígeno muy bajas pueden provocar asfixia, un efecto en el que el cuerpo recibe una cantidad insuficiente de oxígeno, lo que provoca la pérdida del conocimiento o la muerte [6].^b A estas concentraciones de oxígeno tan bajas (es decir, menos del 10 %), la exposición puede provocar una rápida pérdida del conocimiento sin previo aviso [7], que puede ocurrir en tan solo una o dos respiraciones [6, p. 4].

Concentración de oxígeno atmosférico (%)	Posibles resultados
20.9	Normal
19.0	Algunos efectos fisiológicos adversos imperceptibles
16.0	Aumento del pulso y la frecuencia respiratoria, problemas de pensamiento y atención, reducción de la coordinación
14.0	Fatiga anormal por el esfuerzo, malestar emocional, coordinación defectuosa, por juicio
12.5	Muy poco juicio y coordinación, alteración de la respiración que puede causar daño cardíaco permanente, náuseas y vómitos
< 10	Incapacidad para moverse, pérdida del conocimiento, convulsiones, muerte

Figura 6. Efectos de la deficiencia de oxígeno en el cuerpo humano [8, p. 3]. (Crédito: CSB)

1.8 NITRÓGENO LÍQUIDO EN EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS

Los congeladores criogénicos que utilizan gases inertes, como el nitrógeno líquido, se han vuelto comunes en la industria de procesamiento de alimentos debido a su inversión de capital relativamente baja, su tamaño más pequeño y su tiempo de congelación más rápido en comparación con los congeladores mecánicos a base de amoníaco [9]. Además de Messer, varias

^a Los síntomas de la hipotermia incluyen una desaceleración de las respuestas físicas y mentales, comportamiento irracional, dificultad para hablar o ver, tropiezos y calambres y escalofríos.

^b Normalmente, el aire contiene aproximadamente un 21 % de oxígeno [52]. Los síntomas de asfixia pueden incluir respiración rápida, náuseas, vómitos, incapacidad para moverse, movimientos convulsivos, colapso, pulso anormal, fatiga rápida, juicio erróneo, insensibilidad al dolor y emociones anormales.

empresas fabrican congeladores criogénicos para la industria de procesamiento de alimentos comparables al que se analiza en este informe.

Los congeladores criogénicos en espiral por inmersión se utilizan en diversas instalaciones de congelación de alimentos, incluida la congelación de aves, carne de res, embutidos cortados en cubitos, aderezos para pizzas, carnes y verduras marinadas, camarones y filetes de mariscos [10].

En los Estados Unidos, al menos 220 instalaciones de procesamiento de aves manejan líquidos criogénicos. En junio de 2021, la Asociación de Aves y Huevos de los Estados Unidos encuestó a los establecimientos de procesamiento de aves y descubrió que el 74 % de los encuestados utiliza congeladores criogénicos, el 22 % utiliza nitrógeno líquido, el 33 % utiliza dióxido de carbono y el 19 % utiliza nitrógeno líquido y dióxido de carbono, como se muestra en **Figura 7**.

Uso de líquidos criogénicos en la industria avícola Encuesta de junio de 2021*

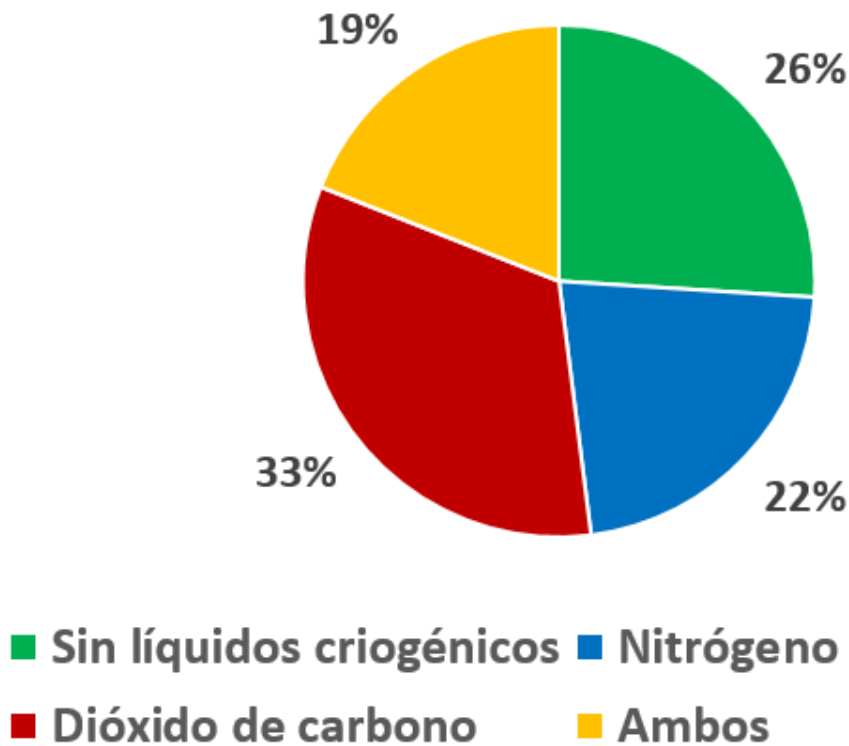


Figura 7. Uso criogénico en la industria avícola. (Crédito: Asociación de Aves y Huevos de los Estados Unidos, formateado por CSB)

1.9 COBERTURA NORMATIVA

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos (OSHA, por sus siglas en inglés) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) no definen el nitrógeno líquido como una sustancia química altamente peligrosa o una sustancia extremadamente peligrosa. En consecuencia, la norma de Gestión de la Seguridad de Procesos (PSM, por sus siglas en inglés) de la OSHA (sección 1910.119 del Título 29 del CFR) y la regla del Programa de Gestión de Riesgos (RMP, por sus siglas en inglés) de la EPA (sección 68 del Título 40 del CFR) no se aplicaron al proceso de nitrógeno líquido de FFG [11, 12]. Aunque FFG también utilizó amoníaco anhidro (que está regulado por la PSM y el RMP) en procesos separados del proceso de nitrógeno líquido de la línea 4, FFG afirmó que sus procesos de amoníaco tampoco estaban cubiertos por las normativas porque los procesos de amoníaco de FFG no estaban interconectados y cada uno utilizaba una cantidad de amoníaco anhidro menor que la cantidad requerida para activar la cobertura regulatoria. Se aplicaron otras regulaciones a FFG, y se analizan en las partes relevantes del informe a continuación.

1.10 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA CIRCUNDANTE

La **Figura 8** muestra el establecimiento de FFG y representa el área dentro de una, tres y cinco millas del límite de las instalaciones. A continuación se muestran datos demográficos resumidos para la vecindad de aproximadamente una milla de las instalaciones de FFG en la **Tabla 1**. Existen más de 26,000 residentes en más de 7,600 viviendas, la mayoría de las cuales son unidades unifamiliares, dentro de una milla de las instalaciones de FFG. Los datos demográficos detallados se incluyen en la **Apéndice B**.



Figura 8. Imagen aérea satelital de las instalaciones de FFG y sus alrededores. (Crédito: Google, anotaciones de la CSB)

Tabla 1. Datos demográficos resumidos para aproximadamente una milla de cercanías de las instalaciones de FFG (Crédito: La CSB usando datos obtenidos de Census Reporter)

Población	Raza y etnia		Ingreso per cápita ^a	% por debajo del umbral de pobreza	Número de viviendas	Tipo de viviendas	
26,093	Blancos	25 %	\$22,177	21 %	7,651	Una sola unidad	70 %
	Negros	8 %				Unidades múltiples	22 %
	Nativos	0 %				Casa móvil	8 %
	Asiáticos	5 %				Barco, RV, furgoneta, etc.	0 %
	Isleño	0 %				X	
	Otros	0 %					
	Dos o más	2 %					
	Hispanos	59 %					

2 DESCRIPCIÓN DEL INCIDENTE

2.1 PROBLEMAS OPERATIVOS

Después de la puesta en servicio del congelador en espiral por inmersión de la línea 4 en diciembre de 2020, FFG experimentó una serie de problemas operativos con el equipo. Messer regresó al establecimiento de FFG en múltiples ocasiones para solucionar estos problemas operativos, incluidos problemas con la carga de la cinta, el control del nivel de nitrógeno líquido y la congelación.

Con respecto a los problemas de carga de la cinta, el producto de pollo cortado en cubitos se desplazaba de manera desigual hacia un lado de la cinta transportadora mientras viajaba a través del congelador por inmersión hasta el congelador en espiral. Messer pensó que el flujo de nitrógeno líquido hacia la tina del congelador por inmersión estaba potencialmente empujando el producto de pollo hacia el lado opuesto de la cinta transportadora, provocando una carga desigual de la cinta. En consecuencia, el 23 de enero de 2021, Messer modificó el diseño del extremo de la tubería de entrada de nitrógeno líquido al congelador por inmersión para reducir la velocidad del nitrógeno líquido que ingresaba a la tina de inmersión.^b En el momento del incidente, Messer y FFG habían resuelto la mayoría, pero no todos, los problemas de carga desigual de la cinta en el sistema de congelador.

FFG también informó a Messer que creía que el nivel de nitrógeno líquido indicado en el panel de control era inferior al nivel esperado dado el punto de ajuste de nivel especificado. En un intento de abordar la discrepancia percibida en el control de nivel, el 23 de enero de 2021, Messer reemplazó la válvula de control de nitrógeno líquido y el transductor en el congelador por inmersión. En el momento del incidente, Messer creyó que los problemas de control del nivel de nitrógeno líquido se habían resuelto, pero Messer y FFG continuaban haciendo otros ajustes al sistema.^c

^aLa Oficina del Censo informa que el ingreso per cápita de Estados Unidos en 2021 es de \$41,285 [54].

^b Messer también volvió a centrar la cinta transportadora en el congelador por inmersión y agregó guías de producto a la cinta para solucionar los problemas de carga de la cinta.

^c La válvula de control de nitrógeno líquido utiliza un punto de ajuste de nivel para determinar la posición apropiada de la válvula para controlar el flujo de nitrógeno líquido hacia el congelador.

Además, dos días antes del incidente, FFG experimentó problemas cuando el congelador en espiral por inmersión no congelaba completamente el producto de pollo cortado en cubitos. Los empleados de FFG detuvieron las operaciones de producción de la línea 4 varias veces para solucionar el problema. El 26 de enero de 2021, Messer estuvo en el lugar para presenciar el intento de FFG de procesar el producto cortado en cubitos. Según las observaciones de ese día, se redujo el nivel de nitrógeno líquido en el congelador por inmersión para evitar una carga desigual de la cinta, que Messer sospechaba que estaba causando los problemas de congelación.

Al día siguiente, el 27 de enero de 2021, FFG siguió experimentando problemas de congelación. FFG aumentó el nivel de líquido en el congelador por inmersión en un intento de resolver el problema, pero esta acción no resolvió el problema. Posteriormente, un trabajador de mantenimiento de FFG informó a la administración que creía que el nivel de nitrógeno líquido era demasiado bajo. Como resultado, el gerente llamó a Messer para pedirle orientación. Messer recomendó que FFG aumentara aún más el nivel de nitrógeno en el congelador y le proporcionó a FFG el nombre de usuario y la contraseña necesarios para modificar este parámetro en el sistema. La producción en el congelador de espiral de inmersión se reanudó esa tarde y continuó hasta el final de la jornada laboral.

2.2 DÍA DEL INCIDENTE

2.2.1 FUGA DE NITRÓGENO LÍQUIDO

El 28 de enero de 2021, las operaciones de la línea 4 comenzaron aproximadamente a las 7:16 a. m. Continuando con la tendencia de los días anteriores, se observó que un producto de pollo blando y parcialmente congelado salía del congelador en espiral por inmersión. Como resultado, la línea 4 dejó de procesar pollo aproximadamente a las 8:14 a. m. para que el personal de mantenimiento pudiera solucionar el problema. Aproximadamente a las 8:20 a. m., el supervisor de empaque^a de la línea 4 ordenó a los trabajadores de la línea 4 que se tomaran un descanso mientras los trabajadores de mantenimiento intentaban resolver el problema del congelamiento. Los trabajadores de mantenimiento realizaron el mantenimiento sin apagar el congelador y con los interruptores de seguridad de la puerta de la caja de transición y de la tapa del congelador por inmersión anulados intencionalmente.

La Comisión de Seguridad e Investigación de Peligros Químicos de los Estados Unidos (CSB) determinó que, probablemente mientras los trabajadores de la línea 4 estaban en descanso, el medidor de tipo burbujeo en el congelador por inmersión de alguna manera se dobló, impidiendo así que el sistema de control del nivel de nitrógeno líquido del congelador funcionara correctamente (descrito más adelante en la Sección 3). Luego, el nivel de nitrógeno líquido aumentó de manera incontrolada y el nitrógeno líquido se desbordó del congelador por inmersión, llenando el cuarto frío con nitrógeno vaporizado que desplazó el oxígeno del cuarto.

Después de unos 20 minutos, aproximadamente a las 8:40 a. m., los trabajadores de la línea 4 regresaron del descanso. En ese momento, los trabajadores notaron una nube de niebla blanca proveniente del cuarto frío de la línea 4, pero no tomaron ninguna otra medida. Según un empleado, debido a que los trabajadores observaban regularmente niebla blanca en el cuarto frío, no creían que hubiera un problema. A las 9:40 a. m., después de más de una hora sin saber nada del supervisor de empaque de la línea 4, uno de los trabajadores de la línea 4 decidió buscarlo. El trabajador de la línea 4 ingresó al cuarto frío de la línea 4 a través de una abertura elevada,^b como se muestra en la **Figura 3** y **Figura 9**.

^a Posteriormente, el supervisor de empaque de la línea 4 fue encontrado con lesiones mortales.

^b El pollo ingresa al cuarto frío a través de una cinta transportadora a través de esta abertura. El borde inferior de esta abertura se eleva aproximadamente 4 pies y 9 pulgadas por encima del piso del cuarto frío. Esta abertura no estaba destinada al uso humano como pasillo y estaba destinada únicamente a permitir que las cintas transportadoras ingresaran al cuarto frío y permitir cierta ventilación de reposición. El trabajador de la línea 4 se agachó y se arrastró por la abertura.

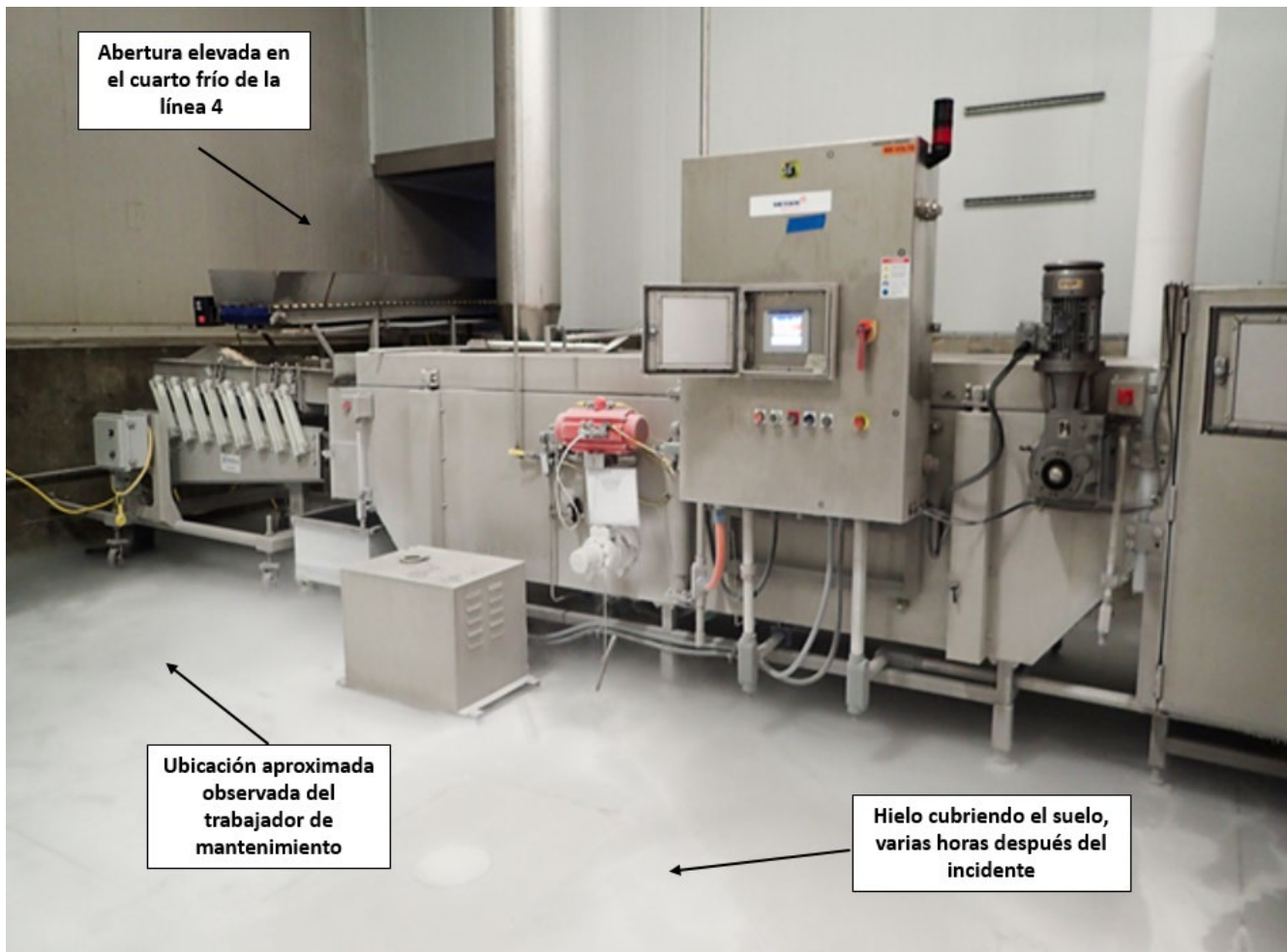


Figura 9. El congelador en espiral por inmersión de la línea 4 en el cuarto frío de la línea 4 varias horas después del incidente. (Crédito: Servicios de Bomberos del Condado de Hall, anotaciones de la CSB)

El trabajador de la línea 4 observó una densa nube blanca de aproximadamente cuatro pies de altura que llenaba el cuarto.^a También vio a uno de los trabajadores de mantenimiento tirado inmóvil en el suelo frente a la cinta transportadora. El trabajador de la línea 4 salió del cuarto frío arrastrándose por la abertura elevada y regresó a donde estaban congregados los otros trabajadores de la línea 4 en el área RTE. Informó a los demás trabajadores de lo que vio y luego volvió a gatear por la abertura elevada, esta vez con otro trabajador para confirmar sus observaciones. Los trabajadores de la línea 4 nuevamente regresaron al área donde se encontraban congregados los demás trabajadores y luego partieron para localizar al supervisor de empaque de la línea 1 para informarle lo que habían observado.

2.2.2 RESPUESTA AL INCIDENTE

Debido a que FFG no tenía un sistema de vigilancia, la única evidencia disponible para que la CSB la usara para reconstruir las actividades de respuesta fueron los relatos de primera mano de los empleados que no resultaron con lesiones mortales

^a El gas nitrógeno frío podría crear una nube de niebla de humedad condensada en el aire. Esta nube blanca puede oscurecer la visibilidad [7].

durante el incidente. La CSB no pudo dar cuenta completa de las acciones de los seis empleados con lesiones mortales y tampoco pudo establecer completamente el orden cronológico de los eventos que los empleados describieron.

Aproximadamente a las 9:55 a. m., al escuchar lo que los trabajadores de la línea 4 vieron en el cuarto frío, el supervisor de empaque de la línea 1 escoltó a los trabajadores de las líneas 1 y 4 fuera del edificio.^a Posteriormente se vio al supervisor de empaque de la línea 1 reingresando al edificio.^b Casi al mismo tiempo, otros supervisores de línea comenzaron a evacuar al resto de los empleados de la planta 4 del edificio y notificaron a la administración sobre la emergencia. Aproximadamente 130 trabajadores fueron evacuados del edificio.

Durante la evacuación, al menos 14 empleados de FFG acudieron al área del congelador de la línea 4 para tratar de determinar qué sucedió o intentar realizar esfuerzos de rescate. De los empleados que acudieron al área, cuatro resultaron con lesiones mortales, tres resultaron con lesiones de gravedad y al menos siete sufrieron lesiones leves o resultaron ilesos.

Después de enterarse de un problema en el cuarto frío de la línea 4, el gerente de logística de producción se dirigió al área y descubrió al supervisor de empaque de la línea 4 inconsciente en el área de envío adyacente al cuarto frío de la línea 4. El gerente de logística de producción intentó trasladar al supervisor de empaque de la línea 4 al muelle de carga, pero se vio afectado por los vapores de nitrógeno y se retiró a la cámara estéril, que estaba adyacente al cuarto frío de la línea 4. El gerente de logística de producción se apoyó contra la pared de la cámara estéril y perdió el conocimiento por la exposición al nitrógeno.

Casi al mismo tiempo, el gerente de mantenimiento llegó al área de la cámara estéril para evaluar la situación. Observó a un trabajador de producción de la línea 4 que yacía inconsciente en el suelo. Se agachó e intentó sacarlo del área, pero también fue afectado por los vapores de nitrógeno líquido. Informó que tropezó y estuvo a punto de desmayarse antes de retirarse para salir del edificio. Al darse cuenta de que había una fuga de nitrógeno líquido, el gerente de mantenimiento y otros dos empleados de FFG se dirigieron a los tanques de almacenamiento de nitrógeno líquido ubicados en la parte delantera del edificio para cerrar manualmente el suministro de nitrógeno líquido.

A las 10:11 a. m., el director de operaciones de alimentos preparados llamó al 911 para reportar el incidente.^c Durante la llamada al 911, otro empleado de FFG activó la alarma contra incendios de la planta 4 cerca del frente del edificio. Después de hacer la llamada inicial al 911, el director de operaciones de alimentos preparados se dirigió al cuarto frío de la línea 4 y llamó al gerente de salud y seguridad ambiental (EHS, por sus siglas en inglés) y de aguas residuales y al vicepresidente ejecutivo superior de operaciones para informarles de la situación. Estos tres gerentes se reunieron y se dirigieron a la cámara estéril adyacente al cuarto frío de la línea 4, donde descubrieron al gerente de logística de producción apoyado contra la pared, inconsciente, así como a otros dos empleados de FFG (el supervisor de empaque de la línea 1 y el trabajador de producción de la línea 4 a quien el gerente de mantenimiento intentó rescatar) tirados inconscientes en el suelo. En respuesta, los tres gerentes sacaron al gerente de logística de producción^d de la cámara estéril y lo llevaron al muelle de carga en la parte trasera del edificio.

Los miembros del Cuerpo de Bomberos del Condado de Hall llegaron al lugar alrededor de las 10:18 a. m., momento en el que otros empleados de FFG ya habían trasladado al supervisor de empaque de la línea 4 fuera del área afectada. Usando un equipo de respiración autónoma (SCBA, por sus siglas en inglés), los socorristas ingresaron al cuarto frío de la línea 4 y encontraron una nube blanca de cuatro pies de alto que oscureció su visibilidad en la sala. La temperatura del suelo en el cuarto fue de menos de -100 °F (-73 °C). Los socorristas sacaron a los dos trabajadores de mantenimiento y a la

^a Los registros de control de calidad de la línea 1 indican que la última lectura de temperatura se tomó a las 9:54 a. m.

^b Posteriormente, el supervisor de empaque de la línea 1 fue encontrado con lesiones mortales.

^c El director de operaciones de alimentos preparados llamó al 911 después de recibir una llamada del gerente de logística de producción que se había encontrado con el supervisor de empaque de la línea 4 en el área de envío adyacente al cuarto frío de la línea 4.

^d El gerente de logística de producción sobrevivió al incidente, pero pasó dos días recuperándose en el hospital.

superintendente^a de la planta 4 del cuarto frío de la línea 4 y posteriormente sacaron al supervisor de empaque de la línea 1 y al trabajador de producción^b de la línea 4 de la cámara estéril. A las 10:36 a. m., uno de los bomberos activó dos de los botones de parada de emergencia del congelador en espiral por inmersión.

2.3 CONSECUENCIAS DEL INCIDENTE

Cinco empleados de FFG perecieron en las instalaciones de FFG.^c Otra empleada falleció más tarde, tras ser trasladada al hospital. Después de la evacuación de las instalaciones, varios empleados adicionales de FFG experimentaron síntomas asociados con la asfixia, incluidos mareos, dolores de cabeza, náuseas y desmayos. Muchos de los empleados que experimentaron estos síntomas fueron tratados por paramédicos en el lugar; sin embargo, siete empleados de FFG fueron transportados en ambulancia y tres fueron transportados de forma privada al hospital local para evaluación y tratamiento. De los 10 empleados que fueron al hospital, seis fueron tratados en la sala de emergencias y dados de alta ese mismo día, tres fueron ingresados y uno fue declarado muerto en la sala de emergencias.

Además, cuatro de los cinco socorristas que ingresaron al edificio usando SCBA también fueron trasladados al hospital después de experimentar mareos, dificultad para respirar y dolor abdominal. Tres de los socorristas fueron atendidos en la sala de emergencias y dados de alta el mismo día; el cuarto fue dado de alta al día siguiente.

Al final, la fuga de nitrógeno líquido en el cuarto frío de la línea 4 de FFG causó lesiones mortales a seis empleados de FFG (los dos trabajadores de mantenimiento, los supervisores de empaque de las Líneas 1 y 4, la superintendente de la planta 4 y un trabajador de la línea 4). Los resultados de la autopsia revelaron que los seis empleados sufrieron asfixia. El incidente también provocó lesiones graves a tres empleados de FFG y a un bombero.

Los documentos judiciales muestran que después del incidente, FFG demandó a su compañía de seguros por daños y perjuicios por aproximadamente 1.7 millones de dólares. Messer informó pérdidas comerciales y de propiedad de aproximadamente 245,000 dólares.

^a La superintendente de planta 4 fue vista “después de las 9:00 horas” por el director de operaciones de alimentos preparados. Según el director, la superintendente entró a la oficina del director y le informó “un problema y [que] iba a ir a comprobarlo”.

^b Esta trabajadora estaba viva, pero en estado crítico cuando la sacaron del edificio. Fue trasladada al hospital y falleció en la sala de emergencias.

^c Cinco de las lesiones fatales ocurrieron en las instalaciones; la sexta fatalidad se produjo en la sala de emergencias.

3 ANÁLISIS TÉCNICO

Después del incidente, la CSB examinó el congelador por inmersión. Parte del examen implicó levantar la tapa del congelador y realizar un examen visual dentro del congelador. La CSB encontró que el medidor de tipo burbujeo estaba doblado, como se muestra en la **Figura 10**.



Figura 10. Medidor de tipo burbujeo de congelador por inmersión, como se encontró durante el examen del congelador posterior al incidente. Tal como está diseñado, el medidor debe apuntar directamente hacia abajo. (Crédito: CSB)

Como se analizó anteriormente, el congelador por inmersión fue diseñado para sumergir el producto en un baño de nitrógeno líquido, manteniendo una altura de líquido especificada por el usuario en el baño. El predecesor de Messer, Linde, diseñó el congelador por inmersión con un dispositivo de medición del nivel de líquido llamado medidor de tipo burbujeo.^a Como se muestra en la **Figura 11**, un medidor de tipo burbujeo funciona manteniendo un flujo constante de vapor a través del tubo hacia el líquido y midiendo la presión diferencial entre el líquido y la presión atmosférica [11, p. 113]. Luego, el sistema de control del congelador por inmersión utilizó esa medición de presión diferencial para calcular el nivel de líquido en el baño y cambiaría la posición de la válvula de control de flujo de nitrógeno líquido para mantener el nivel de líquido en el punto de ajuste especificado por el usuario. Messer también equipó el congelador con un dispositivo de seguridad de alto nivel que, cuando se activaba, estaba diseñado para cerrar válvulas para cortar el flujo de nitrógeno

^a También conocido como “tubo de inmersión”[11, p. 113].

líquido adicional hacia el congelador, como se muestra a continuación en la **Figura 12**. El circuito de control de nivel y el bloqueo de seguridad de alto nivel utilizaron el medidor de tipo burbujeo como sensor de entrada.

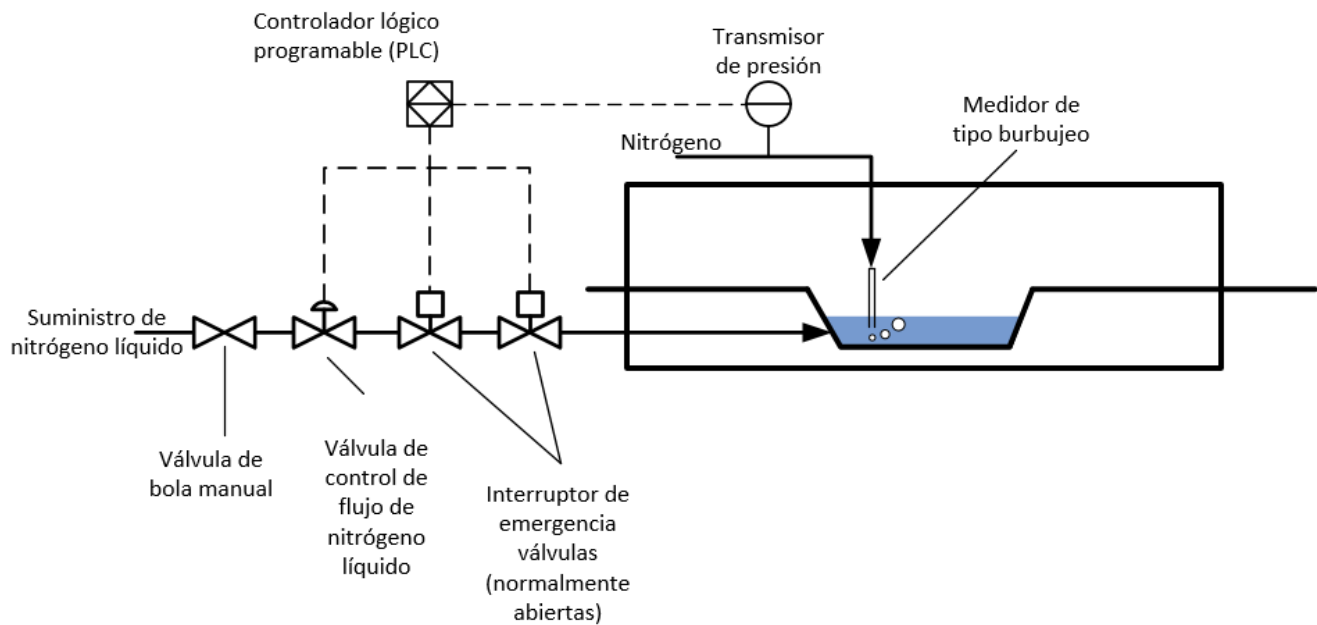


Figura 11. Diagrama conceptual simplificado del control de nivel del congelador por inmersión y sistema de bloqueo de seguridad de alto nivel. No dibujado a escala. (Crédito: CSB)

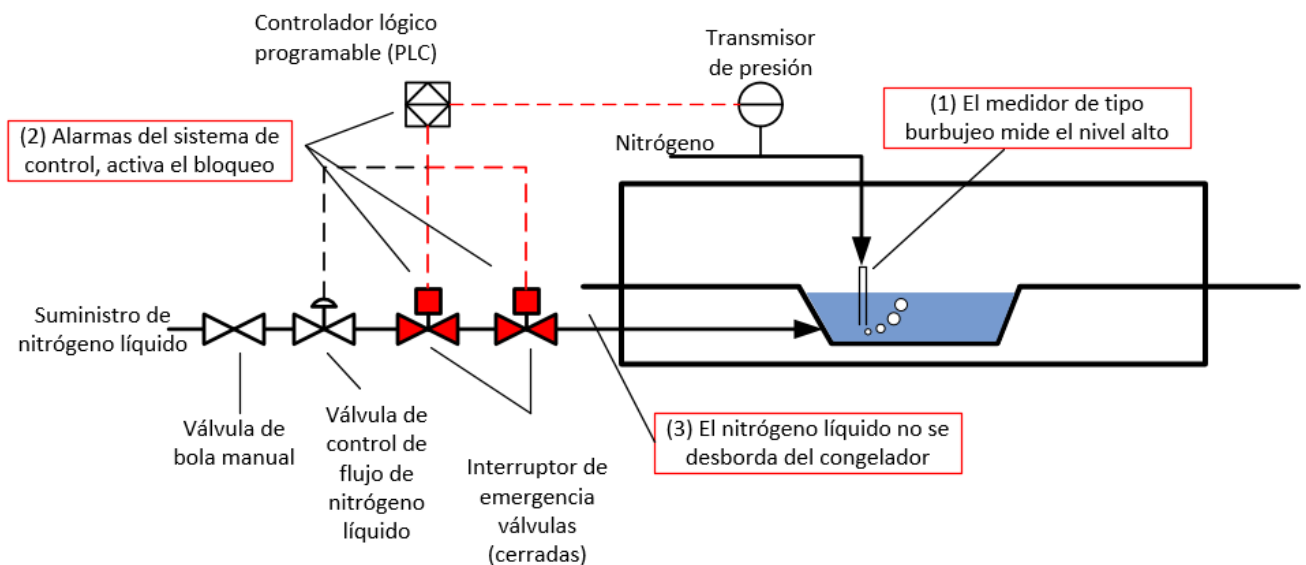


Figura 12. Diagrama conceptual simplificado que muestra el funcionamiento normal del bloqueo de seguridad de alto nivel del congelador por inmersión. No dibujado a escala. (Crédito: CSB)

La CSB probó la funcionalidad del sistema de control de nivel del congelador por inmersión después del incidente. La prueba implicó llenar la tina de inmersión con agua, con la intención de determinar: 1) si el líquido se desbordaría del congelador; 2) la ubicación desde donde se desbordaría el líquido; y 3) la posición de la punta del medidor de tipo burbujeo doblado en relación con el nivel de líquido de desbordamiento en la tina.

Durante la prueba, la CSB documentó las siguientes condiciones, que se muestran a continuación en la **Figura 13** y se ilustran en la **Figura 14**:

- El agua se desbordó por el lado de entrada del congelador.
- El nivel del líquido desbordado era inferior a la elevación de la punta del medidor de tipo burbujeo doblado.
- El sistema de control de nivel del congelador no midió ningún nivel de líquido durante la prueba y el sistema solicitó el flujo máximo de líquido durante la prueba.



Figura 13. Agua que se desborda de la tina del congelador por inmersión durante la prueba de desbordamiento posterior al incidente. (Crédito: CSB)

Durante el incidente, debido a que la punta del tubo estaba doblada por encima del nivel de desbordamiento, el sistema de control de nivel no habría medido incorrectamente ningún nivel de líquido y habría seguido solicitando nitrógeno líquido adicional a pesar de que la tina de inmersión se desbordaba. Además, debido a que la medición de nivel habría sido artificialmente baja, el bloqueo de alto nivel no habría funcionado correctamente (como se ilustra en la **Figura 14**). La CSB examinó la alarma del congelador y el registro de eventos y confirmó que el sistema de control del congelador no registró ningún evento de alto nivel durante el incidente. La CSB concluye que se desbordó nitrógeno líquido del congelador por inmersión. El desbordamiento de nitrógeno líquido fue causado por una falla en el control de nivel del congelador y en los sistemas de bloqueo de seguridad de alto nivel.

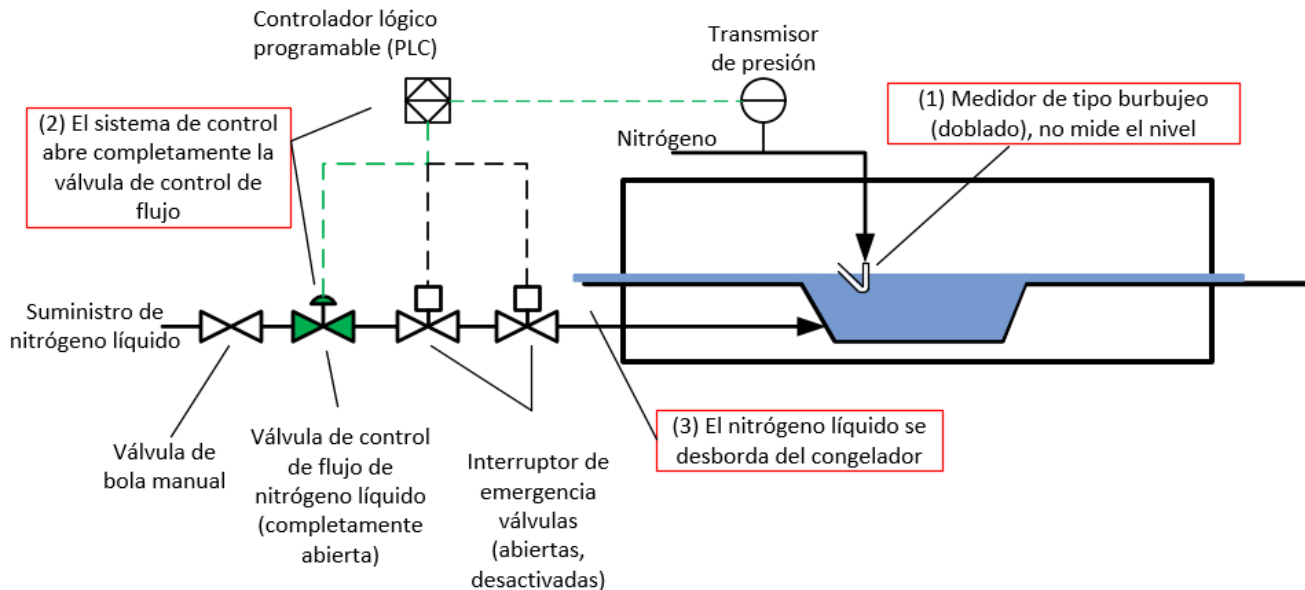


Figura 14. Diagrama conceptual simplificado que muestra el estado de falla del sistema de control de nivel del congelador por inmersión. No dibujado a escala. (Crédito: CSB)

La CSB realizó una segunda prueba de desbordamiento utilizando un medidor de tipo burbujeo modelo diseñado en lugar del tubo incidente doblado. Tanto el sistema de control de nivel como el del sistema de bloqueo de alto nivel operaron según lo diseñado (como se muestra en la **Figura 12**), lo que indica que durante el incidente probablemente no hubo nada que impidiera el correcto funcionamiento de cualquiera de los equipos de control de nivel o de enclavamiento, aparte del medidor de tipo burbujeo doblado. La CSB concluye que la falla del control de nivel del congelador y de los sistemas de bloqueo de seguridad de alto nivel fue causada por la deformación del medidor de tipo burbujeo.

El sistema de control de nivel del congelador por inmersión funcionó según lo diseñado (y el congelador no se desbordó) en los días previos al incidente, incluso hasta las 8:14 a. m. de la mañana del incidente, cuando se detuvo la producción y el congelador pasó a mantenimiento. Por lo tanto, la CSB concluye que el medidor de tipo burbujeo probablemente se dobló la mañana del incidente durante las actividades de resolución de problemas de mantenimiento, probablemente entre las 8:20 a. m. y aproximadamente las 9:30 a. m. Sin embargo, no hubo evidencia suficiente para determinar exactamente cuándo se dobló el tubo. Por lo tanto, la CSB no pudo determinar con precisión cuándo comenzó la fuga incontrolada.

No hubo pruebas suficientes para determinar cómo se dobló el medidor de tipo burbujeo. La CSB consideró varias hipótesis distintas, incluyendo: 1) manipulación humana intencional o no intencional del medidor con la mano o usando varias herramientas; 2) el producto congelado impacta el tubo y lo dobla con el tiempo; y 3) una masa de producto congelado queda atrapada entre el tubo y la pared del congelador por inmersión o la cinta transportadora.

La CSB, Messer y FFG probaron exhaustivamente varias hipótesis. Aunque varias de las pruebas produjeron resultados similares a la condición en que se encontró el tubo incidente, ninguna de las pruebas reprodujo el estado exacto en el que se encontró el medidor del incidente (como el grado de curvatura, la dirección de la curvatura, o la presencia o ausencia de ciertas “marcas”, que son impresiones específicas como rayones y abolladuras dejadas en el metal). Como resultado, la CSB no pudo determinar definitivamente cómo se dobló el medidor.

Tampoco hubo evidencia suficiente para determinar las acciones que tomaron los dos trabajadores de mantenimiento durante sus esfuerzos de solución de problemas, o la secuencia de eventos que tuvieron lugar en el cuarto frío entre el momento en que el congelador pasó de operaciones a mantenimiento y cuando los trabajadores de la línea 4 identificaron

por primera vez la emergencia. Debido a que fue imposible determinar 1) cuándo y cómo se dobló el medidor; 2) qué acciones tomaron los trabajadores de mantenimiento; 3) si los trabajadores estaban conscientes del medidor doblado; 4) si los trabajadores estaban conscientes del aumento del nivel de nitrógeno líquido en el congelador; o 5) si estaban conscientes del peligro que presentaba el aumento del nivel del líquido, la CSB no pudo determinar si los dos trabajadores de mantenimiento tenían suficiente conocimiento, tiempo y capacidad para evitar la fuga activando una parada de emergencia o para escapar del sitio de manera segura antes de que se perdiera la contención. Messer capacitó a los trabajadores para operar y mantener el congelador y, por lo tanto, es posible que los trabajadores hayan podido reconocer el funcionamiento incorrecto del congelador y hayan podido activar una apagado de emergencia para evitar el desbordamiento. Sin embargo, al final, la CSB no pudo determinar si los trabajadores estaban al tanto de la fuga inminente y los trabajadores no activaron una parada de emergencia ni escaparon del sitio.

El gerente de mantenimiento le dijo a la CSB que cerró manualmente las válvulas de descarga del tanque de almacenamiento a granel de nitrógeno líquido (Sección 2.2.2), pero no pudo identificar en qué momento lo hizo. Con base en sus relatos y los de otros sobre los eventos, y una llamada al 911 que hizo a las 10:18 a. m., la CSB estima que el gerente de mantenimiento cerró las válvulas aproximadamente a las 10:15 a. m.^a La CSB concluye que la fuga incontrolada de nitrógeno líquido probablemente cesó aproximadamente a las 10:15 a.m. cuando se cerraron las válvulas de descarga operadas manualmente del tanque de almacenamiento a granel, ubicadas fuera del edificio.

Messer informó que aproximadamente 6,300 galones de nitrógeno líquido fluyeron a la combinación de congelador en espiral por inmersión de la línea 4 entre las 8:21 a. m. y las 10:51 a. m.^b No todo el flujo de nitrógeno líquido que Messer informó se habría liberado, ya que el sistema dividió el flujo total entre los congeladores por inmersión y en espiral. La CSB concluye que, como máximo, aproximadamente 6,300 galones (aproximadamente 42,400 libras) de nitrógeno líquido se fugaron del congelador por inmersión de la línea 4 de FFG, aunque la cantidad real liberada probablemente fue menor. No hubo pruebas suficientes para determinar la cantidad exacta de nitrógeno líquido liberado porque no fue posible determinar cuándo comenzó la fuga.

La Oficina de Investigaciones de Georgia determinó que los seis empleados fallecidos sufrieron asfixia. Como se analizó en la Sección 1.4, el cuarto frío estaba parcialmente empotrado, casi completamente cerrado por debajo de cinco pies de altura, y el sitio estaba ventilado únicamente por el sistema de aire de reposición del edificio. Los vapores de nitrógeno frío son más pesados que el aire, y numerosos empleados y socorristas informaron haber visto una nube espesa y visible de vapor de aproximadamente cuatro a cinco pies de altura en el cuarto frío.^c La CSB concluye que el nitrógeno líquido liberado se vaporizó, se acumuló en el cuarto frío y produjo una atmósfera deficiente en oxígeno dentro del cuarto.

^a El registro de eventos del congelador muestra que la parada de emergencia se activó a las 10:36 a. m., por lo que, a más tardar, el flujo incontrolado de nitrógeno líquido al congelador por inmersión habría cesado a las 10:36 a. m. cuando se activó la parada de emergencia.

^b Un medidor de flujo máscico midió y totalizó el flujo de nitrógeno líquido una vez cada 30 minutos.

^c Debido a que el nitrógeno no es visible, la nube vista por los testigos fue el resultado de la condensación de humedad en el aire debido a la reducción de temperatura causada por la fuga.

4 PROBLEMAS DE SEGURIDAD

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

- Punto simple de fallo ([Sección 4.1](#));
- Sistemas de alarma y monitoreo atmosférico ([Sección 4.2](#));
- Preparación para emergencias ([Sección 4.3](#));
- Sistema de gestión de la seguridad de procesos ([Sección 4.4](#)); y
- Administración de productos ([Sección 4.5](#)).

4.1 PUNTO SIMPLE DE FALLO

Los procesos y equipos que manejan productos químicos peligrosos deben ser lo suficientemente robustos como para que la falla de un solo componente no resulte en un incidente catastrófico. Independientemente de cómo se dobló el medidor de tipo burbujeo, diseñar el congelador para evitar este punto simple de fallo podría haber evitado este incidente.

La CSB encontró que el congelador no fue diseñado de acuerdo con la guía de buenas prácticas de la industria, que el análisis de peligros del proceso (PHA) de la fase de diseño de Linde no identificó el punto simple de fallo y que durante la fabricación del congelador por inmersión de FFG, Messer no detectó un defecto de fabricación (faltaba una segunda abrazadera destinada a asegurar el medidor de tipo burbujeo al congelador) que exacerbaba la vulnerabilidad del medidor de tipo burbujeo a la deformación.

4.1.1 PUNTO SIMPLE DE FALLO

El diseño del congelador por inmersión involucrado en el incidente era tal que el sistema de burbujeo usaba un dispositivo de medidor de tipo burbujeo único para medir el nivel del líquido, lo que convertía al medidor de tipo burbujeo en un dispositivo crítico para la seguridad. El medidor de tipo burbujeo era la única entrada tanto para el circuito de control de nivel como para el bloqueo de seguridad de alto nivel, que estaba configurado para detener el flujo de nitrógeno líquido al congelador por inmersión en caso de que el líquido alcanzara un nivel inseguro.^a Como resultado, como se muestra arriba en la **Figura 14**, cuando el medidor de tipo burbujeo se dobló hasta el punto en que el extremo del tubo estaba por encima del nivel de desbordamiento del congelador, el sistema de control del nivel de nitrógeno líquido no pudo detectar ni modular el nivel de líquido en el congelador, y el bloqueo de seguridad de alto nivel diseñado para evitar el desbordamiento del equipo estaba desactivado. La CSB concluye que el congelador por inmersión fue diseñado de manera que la falla de un solo dispositivo de medición de nivel podría desactivar tanto el sistema de control del nivel de nitrógeno como el bloqueo de seguridad de emergencia destinado a detener el flujo de nitrógeno al congelador. Después de doblar el medidor de tipo burbujeo, no había nada que impidiera la fuga de nitrógeno del congelador.

En general, los sistemas no deberían diseñarse con puntos simple de fallo ya que, por definición, no habría ningún otro sistema de seguridad redundante o independiente disponible en caso de falla. Existen varios documentos de orientación para la industria que analizan este tema. Las *Directrices para sistemas de protección instrumentados seguros y confiables* del Centro para la Seguridad de Procesos Químicos (CCPS) para sistemas de protección instrumentados seguros y confiables explican los procesos de toma de decisiones para la gestión de sistemas de protección instrumentados a lo largo del ciclo de vida de un proyecto [12].

La sección “Comprensión de fallas” de las directrices contiene una discusión sobre fallas de causa común, un término utilizado para describir eventos aleatorios y sistemáticos que causan que múltiples dispositivos, sistemas o capas fallen simultáneamente [12, p. 322]. Según el CCPS, existen esencialmente dos tipos de fallas de causa común: 1) puntos simples de fallo donde un dispositivo que funciona mal causa una falla en la función^b protectora instrumentada, y 2) eventos únicos que conducen a fallas múltiples en un subsistema redundante [12, p. 323]. Los eventos de punto simple de fallo pueden ocurrir debido a eventos de falla sistemáticos que resultan de errores humanos o eventos de falla aleatorios [12, p. 323]. Estos fallos aleatorios normalmente se gestionan mediante redundancia y otros medios [12, p. 323]. Además, la norma 61511 de la Sociedad Internacional de Automatización (ISA, por sus siglas en inglés)^c *Seguridad funcional: sistemas*

^a El bloqueo de seguridad de alto nivel era responsable de interrumpir el flujo de nitrógeno líquido al congelador por inmersión en caso de que la entrada de retroalimentación de nivel excediera el límite de desviación establecido.

^b La función de protección instrumentada es una función de seguridad diseñada para lograr un estado seguro para un evento peligroso específico.

^c La ISA es una asociación profesional sin fines de lucro de ingenieros, técnicos y directivos dedicados a la automatización industrial.

instrumentados de seguridad para el sector de la industria de procesos contiene una guía similar con respecto a puntos simples de fallo [13].

Los sistemas de seguridad redundantes o independientes, como sensores adicionales del medidor de tipo burbujeo u otra tecnología para detectar la presencia de un nivel alto de líquido independiente del medidor de tipo burbujeo, podrían haber evitado la fuga de nitrógeno líquido independientemente del daño al medidor de tipo burbujeo.

La CSB concluye que Linde no diseñó el congelador en espiral por inmersión de acuerdo con la orientación para la industria sobre puntos simples de fallo para sistemas instrumentados. Si Linde o Messer hubieran incluido salvaguardas independientes adicionales para proteger contra eventos de desbordamiento, este incidente podría haberse evitado.

4.1.2 EL PHA EN LA FASE DE DISEÑO DE LINDE

Antes de la adquisición de Messer-Linde en 2005, Linde realizó un PHA sobre el diseño general del congelador en espiral por inmersión. El CCPS define un PHA como un esfuerzo organizado para identificar y evaluar los peligros asociados con los procesos y operaciones para permitir su control [14]. Según el CCPS, un PHA generalmente implica el uso de técnicas cualitativas para identificar y evaluar la importancia de los peligros, seguido del desarrollo de conclusiones y recomendaciones para abordar los peligros. Además de los PHA realizados en procesos que ya están instalados y en funcionamiento, a menudo se realiza un PHA durante la fase de diseño de un proyecto en un esfuerzo por identificar peligros potenciales y la necesidad de salvaguardias adicionales antes de fabricar el equipo.

4.1.2.1 Salvaguardias insuficientes

Según el PHA completo, las posibles desviaciones del proceso para el congelador en espiral por inmersión identificadas por el equipo del PHA incluyeron flujo alto, nivel alto y pérdida de contención, entre otras desviaciones. Con respecto a las causas de estas desviaciones,^a el PHA enumera varios problemas potenciales, incluida la falla del sistema de burbujeo, que en consecuencia podría resultar en la fuga de nitrógeno líquido del congelador por inmersión. Las salvaguardas identificadas para mitigar la posible “falla del burbujeador” y otras causas identificadas incluyeron una alarma de alto nivel para el congelador por inmersión, una alarma o apagado de baja temperatura, la supuesta presencia de equipo de monitoreo atmosférico y el mantenimiento de un programa de mantenimiento preventivo de los componentes (**Figura 15**).

LECCIÓN CLAVE

Los procesos y equipos que utilizan materiales peligrosos deben diseñarse con la suficiente solidez para que la falla de un solo componente no pueda resultar en un incidente catastrófico.

^a Las causas potenciales de pérdida de contención del congelador por inmersión y nivel alto en el congelador por inmersión están relacionadas con las causas potenciales de flujo alto en el congelador por inmersión, que incluyen mal funcionamiento del sistema de control de temperatura, falla o mala calibración del I/P, mal funcionamiento del equipo (válvula de control/suministro accionada), mal funcionamiento del equipo (falla del burbujeador) y calibración inadecuada de la válvula de control.

Elemento	Desviación	Causas	Consecuencias	Salvaguardas
1.1	Alto flujo	Sistema de control de temperatura	Fuga de nitrógeno fuera del congelador	Alarma de alto nivel para congelador por inmersión Alarma/apagado por baja temperatura Monitoreo atmosférico fuera del congelador
		Fallo/calibración incorrecta de I/P		
		Mal funcionamiento del equipo: válvula de suministro/control accionada	Asfixia Lesiones personales Visibilidad reducida	
		Mal funcionamiento del equipo: falla del burbujeador	Pérdida de producción/daño del producto	
		Calibración inadecuada de la válvula de control	Baja temperatura (vinculado a 1.6) Baja temperatura – escape (vinculado a 2.6) Pérdida de contención (vinculada a 1.12) Daño al equipo Nivel alto: congelador de inmersión (vinculado a 1.7)	

Figura 15. Extracto del PHA de Linde que muestra la conexión entre fallos y salvaguardas. (Crédito: Messer, anotaciones de la CSB)

Generalmente, una alarma de nivel alto es una protección lógica para evitar un flujo alto, un nivel alto o una pérdida de contención. Sin embargo, en el caso del modo de falla que ocurrió en este incidente, fue ineficaz porque el daño al medidor de tipo burbujeo deshabilitó tanto el circuito de control de nivel como la alarma de seguridad de alto nivel. En consecuencia, la alarma de alto nivel y el bloqueo no podían servir como protección, como pretendía Linde. Además, la única otra salvaguardia identificada contra fallas del burbujeador fue la presencia de monitoreo atmosférico fuera del congelador, que FFG no tenía. Incluso si FFG tuviera equipo de monitoreo y alarma, dichos sistemas no podrían haber evitado el daño al sistema de burbujeo o el desbordamiento del nitrógeno líquido del congelador; solo podría haber reducido la gravedad o las consecuencias de una fuga.

La CSB concluye que Linde no consideró adecuadamente la falla del sistema de control del nivel de nitrógeno líquido y no identificó salvaguardias apropiadas para mitigar la falla potencial. En esencia, Linde identificó erróneamente el medidor de tipo burbujeo como una protección para sí mismo.

4.1.2.2 Técnica del PHA

La publicación *Directrices para los procedimientos de evaluación de peligros* del CCPS analiza la determinación basada en riesgos de la idoneidad de las salvaguardias identificadas mediante la evaluación de peligros basada en escenarios [15]. Según estas directrices, se deben analizar las salvaguardas para determinar si son adecuadas para mitigar posibles fallas. La determinación de la idoneidad de las salvaguardas generalmente se realiza analizando el riesgo asociado con un escenario a la vez. Las directrices establecen:

El elemento común [...] es el desarrollo de escenarios de incidentes que son descripciones más o menos detalladas de secuencias temporales de combinaciones únicas

de eventos de causa/pérdida, a veces denominadas “pares de causa-consecuencia”. Cada causa iniciadora podría dar lugar a más de un evento de pérdida [...]. Asimismo, un evento de pérdida determinado [...] podría tener varias causas iniciales posibles. Sin embargo, son las combinaciones únicas de causa iniciadora/evento de pérdida las que forman los escenarios de interés [...] [15, p. 213].

Causas de escenarios agrupados

Linde no evaluó escenarios únicos de causa-consecuencia en su PHA de la fase de diseño. En lugar de ello, Linde agrupó las posibles causas de las desviaciones del proceso identificadas. Esto hace que sea inherentemente difícil determinar la secuencia de eventos que conducen de cada causa a la consecuencia. En ausencia de una secuencia clara de eventos, las posibles consecuencias y salvaguardas identificadas para proteger contra los impactos pueden variar dependiendo de cómo se desarrolle el escenario.

Por ejemplo, “Calibración inadecuada de la válvula de control” y “Mal funcionamiento del equipo - falla del burbujeador” pueden provocar que se introduzca un exceso de nitrógeno líquido en el congelador por inmersión, lo que provocará un desbordamiento de nitrógeno líquido. Sin embargo, las salvaguardas a proteger contra cada una de las causas serían diferentes (**Figura 16**). En el caso de un mal funcionamiento de la válvula de control, la alarma de alto nivel/bloqueo de seguridad probablemente identificaría el peligro y cerraría el suministro de nitrógeno líquido al congelador usando válvulas de cierre separadas, como se muestra en azul en la **Figura 16**.

Sin embargo, en el caso de un medidor de tipo burbujeo doblado, como fue el modo de falla en este incidente, tanto el dispositivo de control de nivel como la alarma de alto nivel/bloqueo de seguridad perderían la capacidad de detectar el nivel de nitrógeno líquido en el congelador por inmersión (ilustrado en la **Figura 14**). Por lo tanto, la alarma de alto nivel/interbloqueo de seguridad no habría sido una protección válida en caso de falla del sistema del panel de burbujeo o de un medidor de tipo burbujeo doblado, como se muestra en rojo en la **Figura 16**. Al agrupar las causas potenciales de esta manera, un equipo de PHA puede perder de vista qué salvaguardas protegen contra qué causas.

Elemento	Desviación	Causas	Consecuencias	Salvavidas
1.1	Alto flujo	Sistema de control de temperatura	Fuga de nitrógeno fuera del congelador	Alarma de alto nivel para congelador por inmersión
		Fallo/calibración incorrecta de I/P		Alarma/apagado por baja temperatura
		Mal funcionamiento del equipo: válvula de suministro/control accionada	Asfixia	Monitoreo atmosférico fuera del congelador
			Lesiones personales	
			Visibilidad reducida	Ninguna salvavidas identificada
		Mal funcionamiento del equipo: falla del burbujeador	Pérdida de producción/daño del producto	
		Calibración inadecuada de la válvula de control	Baja temperatura (vinculado a 1.6)	
			Baja temperatura – escape (vinculado a 2.6)	
			Pérdida de contención (vinculada a 1.12)	
			Daño al equipo	
	Nivel alto: congelador de inmersión (vinculado a 1.7)			

Figura 16. Extracto del PHA de Linde que muestra la conexión entre fallos, consecuencia y salvavidas. (Crédito: Messer, anotaciones de la CSB)

Escenarios genéricos

También hubo una falta de especificidad en las causas identificadas en el PHA. Por ejemplo, el PHA enumeró genéricamente “Mal funcionamiento del equipo - falla del burbujeador” como causa de flujo alto, nivel alto o pérdida de contención del congelador por inmersión. Sin embargo, existen varios modos de falla potenciales que podrían causar que el medidor de tipo burbujeo no proporcione una medición precisa al circuito de control de nivel y al bloqueo de seguridad/alarma de alto nivel. Por ejemplo, podría haber una presión incorrecta del nitrógeno gaseoso que se suministra al medidor de tipo burbujeo, podría haber una fuga en los accesorios, la tubería podría estar obstruida con sólidos o el extremo del medidor de tipo burbujeo podría estar doblado y no sumergido completamente en el nitrógeno líquido, como fue el caso en este incidente. Ser específico con las descripciones de las causas permitiría al equipo del PHA comprender completamente cada escenario y analizar qué salvavidas se esperaba que funcionaran correctamente en un escenario particular y en cuáles no se podría confiar debido a una falla de modo común.

La CSB concluye que Linde no identificó escenarios de incidentes específicos o pares de causa-consecuencia al realizar el PHA para el congelador en espiral por inmersión, lo que resultó en que Linde no identificara salvavidas adecuadas para proteger contra el desbordamiento de nitrógeno líquido del congelador por inmersión.

4.1.3 CONTROL DE CALIDAD DE FABRICACIÓN

El congelador por inmersión^a involucrado en este incidente se fabricó a principios de 2016.^b Una vez que se completó la fabricación del congelador por inmersión, el equipo de fabricación^c completó una inspección de control de calidad del equipo para garantizar que se fabricó de acuerdo con las especificaciones de diseño. Una vez finalizada esta inspección de control de calidad, el congelador por inmersión permaneció en posesión de Messer hasta que FFG acordó alquilarlo a Messer en julio de 2020. Una vez que FFG se comprometió a alquilar el equipo, Messer realizó una “verificación funcional” del congelador por inmersión en agosto de 2020.

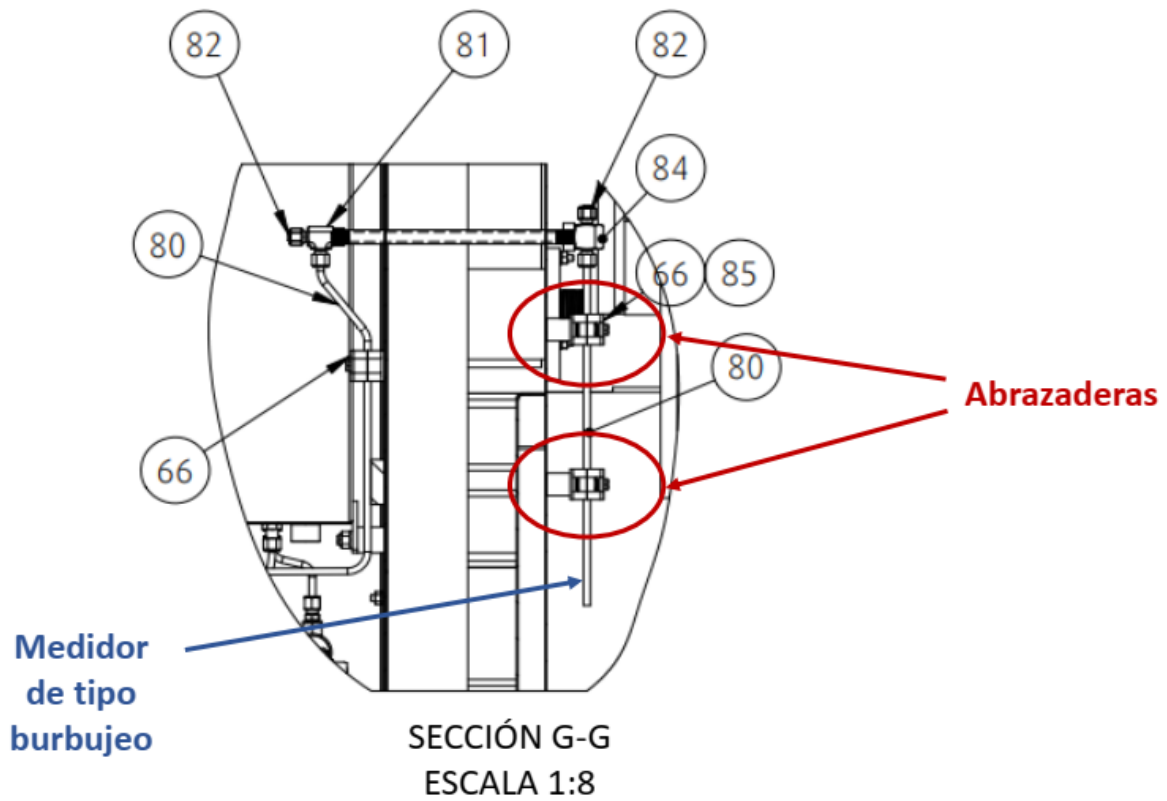
Como se analizó en la Sección 1.2, la instalación del congelador en espiral por inmersión de la línea 4 comenzó el 5 de diciembre de 2020 y se completó el 16 de diciembre de 2020.

Según las especificaciones de diseño, el medidor de tipo burbujeo debería haberse fijado a la pared interior del congelador por inmersión con dos abrazaderas de soporte (**Figura 17**). Sin embargo, después del incidente, la CSB descubrió que solo se había utilizado una abrazadera de soporte para asegurar el medidor de tipo burbujeo al interior del congelador por inmersión (**Figura 18**).

^a Modelo núm. KFI 38-13

^b El congelador por inmersión fue fabricado para Linde por SWF Industries.

^c Linde inspeccionó originalmente el congelador por inmersión; posteriormente, Messer adquirió Linde. Consulte la Sección 1.1.2 para obtener más detalles sobre la relación Linde/Messer.



NOTA: todas las posiciones de abrazaderas y medidores no están dimensionadas específicamente. Si no se muestran dimensiones específicas, coloque el componente en la posición aproximada que se muestra.

Figura 17. Extracto del dibujo del diseño de la tubería que muestra las dos abrazaderas en el medidor de tipo burbujeo. (Crédito: Messer, anotaciones de la CSB)

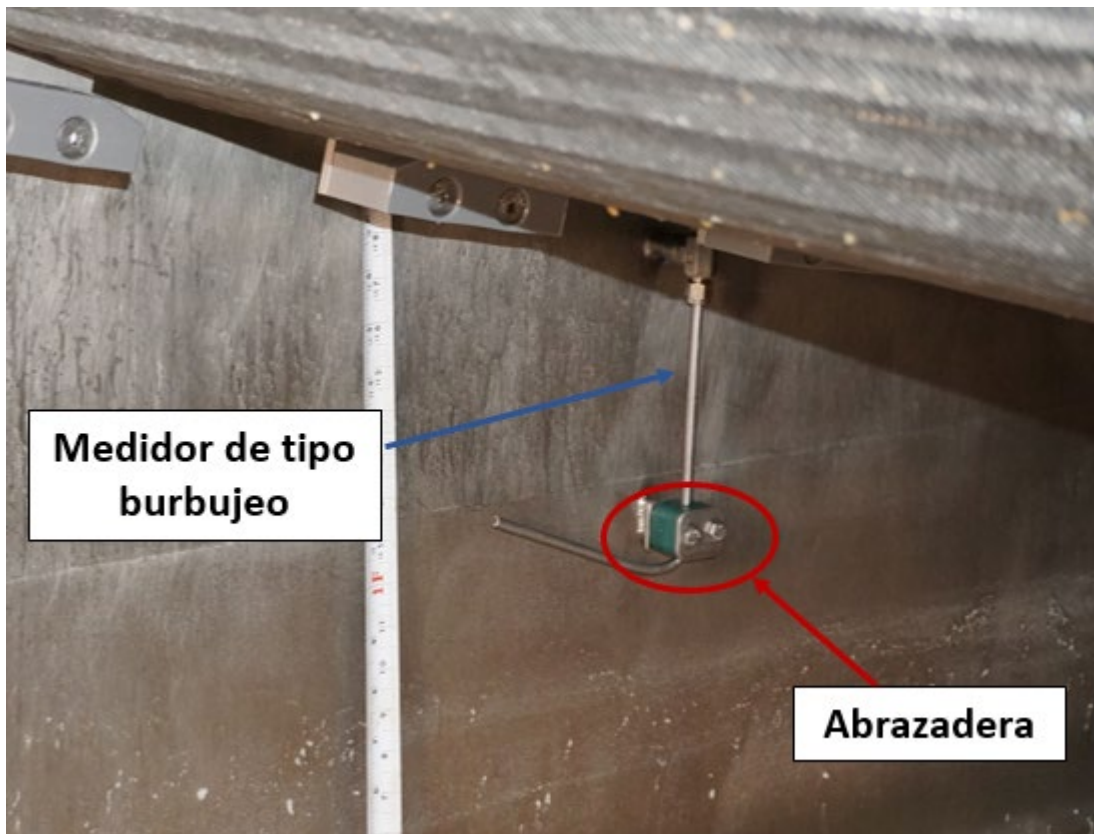


Figura 18. Foto del medidor de tipo burbujeo asegurado a la tina del congelador por inmersión con una abrazadera. (Crédito: CSB)

La abrazadera de soporte faltante no se identificó en junio de 2016, cuando se completó la inspección inicial de control de calidad del equipo después de la fabricación. El formulario de verificación de control de calidad para el congelador por inmersión incluye una sección de *panel de burbujeo y bandeja de purga* con varias verificaciones de renglones relacionados con el equipo. Un renglón contenido en esta sección indica al usuario que “verifique que todas las abrazaderas de soporte estén en su lugar”. El formulario completado de junio de 2016 indica que este renglón fue verificado en el momento de la inspección (Figura 19).

PANEL DE BURBUJEJO y BANDEJA DE PURGA			
1.	Verificar los componentes y el ensamblaje con el plano del sistema	✓	✓
2.	Verificar que el regulador de presión, el regulador de contrapresión, el interruptor de vacío y las válvulas de retención estén instalados correctamente. Véase la figura 2-2	✓	✓
3.	Revisar que todas las abrazaderas de soporte estén en su lugar	✓	✓
4.	Depurar el espacio anular del recipiente interior/externo del congelador de la siguiente manera: NOTA: esto debe completarse antes de introducir N2 en la tina. a) Aflojar la contratuerca de la manija en el regulador de contrapresión	✓	✓

Figura 19. Extracto de la lista de verificación de control de calidad de Messer que indica que todas las abrazaderas de soporte estaban en su lugar en el momento de las inspecciones de control de calidad de junio de 2016 y agosto de 2020. (Crédito: Messer, anotaciones de la CSB)

Después del incidente, el ingeniero de Messer que completó la inspección explicó que los únicos renglones relacionados con el conjunto del medidor de tipo burbujeo en el formulario de control de calidad eran el panel de burbujeo y los componentes de purga de la bandeja de purga, todos los cuales estaban ubicados en el exterior del congelador por inmersión. En consecuencia, no creía que este renglón (el indicado en la **Figura 19**) incluyera la verificación de la presencia de las dos abrazaderas de soporte en el medidor de tipo burbujeo dentro del congelador. Además, indicó que los renglones del formulario de verificación de control de calidad debían completarse en orden secuencial y que, en este punto de la inspección, la tapa del congelador por inmersión habría estado cerrada.^a Como resultado, habría sido imposible garantizar que las dos abrazaderas de soporte en el medidor de tipo burbujeo estuvieran en su lugar como parte de esta instrucción en el renglón. El ingeniero de Messer indicó que no había instrucciones en el formulario de control de calidad que le dirigieran específicamente a verificar la presencia de las dos abrazaderas de soporte interiores en el medidor de tipo burbujeo. Además, el proceso de Messer no parecía implicar una verificación cruzada del congelador construido con los dibujos de ingeniería (extraídos en la **Figura 17**). Hacerlo hubiera presentado otra oportunidad para que el inspector de control de calidad detectara la abrazadera faltante. La CSB concluye que los procedimientos y prácticas de control de calidad de Messer fueron ineficaces para garantizar que las dos abrazaderas de soporte en el medidor de tipo burbujeo estuvieran en su lugar en el momento de la inspección. Como resultado, Messer no pudo identificar la abrazadera de soporte faltante durante la inspección de control de calidad.^b

Después de este incidente, Messer examinó otro congelador por inmersión que se fabricó al mismo tiempo que el congelador involucrado en este incidente. La inspección de este congelador reveló que, al igual que en el congelador involucrado en el incidente, el medidor de tipo burbujeo estaba asegurado al interior del congelador mediante una única abrazadera de soporte. También se encontró que el medidor de tipo burbujeo estaba doblado, aunque en menor grado que el medidor de tipo burbujeo en el congelador de FFG.

Posteriormente, Messer completó una encuesta de 14 congeladores por inmersión adicionales para determinar si los medidores de tipo burbujeo en alguno de estos congeladores estaban doblados o dañados, o asegurados usando una configuración de abrazadera única. Como resultado de esta inspección, Messer descubrió otros dos medidores de tipo burbujeo dañados, ambos sujetos según lo previsto mediante dos abrazaderas de soporte. No se identificaron otras configuraciones de abrazadera de soporte único.

Si bien cualquier longitud de tubería no asegurada es susceptible a daños físicos y movimiento, la combinación de la longitud de la tubería no asegurada y la ubicación de la abrazadera de soporte afecta directamente hasta qué punto se puede doblar la tubería. En consecuencia, la CSB concluye que la combinación de una longitud de tubería no asegurada y la ubicación de la abrazadera de soporte empeoró la posibilidad de que el medidor de tipo burbujeo se doblara, lo que finalmente resultó en que el sistema de burbujeo dejara de funcionar.^c

4.1.4 ACCIONES DE MESSER DESPUÉS DEL INCIDENTE

Después del incidente, Messer implementó varios cambios en el diseño de su congelador por inmersión existente. Los cambios están destinados a proporcionar capas adicionales de protección contra la posibilidad de un desbordamiento de nitrógeno líquido. Entre las capas adicionales de protección se encuentran 1) un sistema de panel de burbujeo doble con dos medidores de tipo burbujeo independientes, construidos con tuberías cédula 80 para brindar mayor resistencia al

^a La tapa no se levanta hasta dos secciones más tarde en el procedimiento de control de calidad en la sección “Unidad de energía hidráulica”.

^b Después del incidente, Messer revisó su proceso y procedimientos de control de calidad para exigir la verificación de la presencia de las abrazaderas del medidor de tipo burbujeo y reordenó la secuencia de pasos de inspección para facilitar esta verificación. En consecuencia, la CSB no hace ninguna recomendación a Messer con respecto a su proceso de control de calidad.

^c Después del incidente, Messer revisó el diseño de su congelador de modo que ahora incluya múltiples capas de protección contra el desbordamiento de nitrógeno líquido. En consecuencia, como se indica a continuación, la CSB no hace ninguna recomendación a Messer con respecto al diseño de sus congeladores por inmersión.

desplazamiento; 2) un detector de temperatura de resistencia externa (RTD, por sus siglas en inglés) ubicado en la parte horizontal de la entrada del congelador, destinado a detectar la presencia de líquido criogénico y activar bloqueos de seguridad; 3) cambios en el controlador lógico programable para acomodar el panel de burbujeo adicional y el RTD; y 4) vaporización de nitrógeno líquido a nitrógeno gaseoso para uso en los sistemas de burbujeo en los tanques de almacenamiento a granel en lugar de en el equipo de congelación.

Debido a que el diseño del congelador de Messer ahora incluye múltiples capas de protección contra el desbordamiento de nitrógeno líquido, la CSB no hace ninguna recomendación a Messer con respecto al diseño de sus congeladores por inmersión.

Messer también revisó su proceso y procedimientos de control de calidad para exigir la verificación de la presencia de las abrazaderas del medidor de tipo burbujeo y reordenó la secuencia de pasos de inspección para facilitar esta verificación. Por lo tanto, la CSB no hace ninguna recomendación a Messer con respecto a su proceso de control de calidad.

4.2 SISTEMAS DE ALARMA Y MONITOREO ATMOSFÉRICO

Los sistemas de alarma y monitoreo atmosférico brindan una importante protección mitigadora contra los peligros en la atmósfera cuando las medidas preventivas no logran contener los materiales peligrosos dentro de un proceso. Los sistemas fijos de alarma y monitoreo atmosférico son esenciales para evitar que las personas ingresen a entornos inseguros, como áreas afectadas por fugas incontroladas de nitrógeno líquido. Para implementar eficazmente estos sistemas críticos para la seguridad, es necesario evaluar las condiciones específicas de la instalación y del sitio.

El nitrógeno líquido se expande rápidamente cuando se evapora y, en un área mal ventilada, el nitrógeno gaseoso puede desplazar rápidamente al oxígeno, creando una atmósfera con deficiencia de oxígeno (Sección 1.6.1). Cuando las personas respiran aire que no tiene suficiente oxígeno, pueden ocurrir efectos inmediatos, incluida la pérdida del conocimiento después de solo una o dos respiraciones y, en última instancia, la muerte (Sección 1.6.2). La persona expuesta no puede percibir que el nivel de oxígeno es demasiado bajo [8, p. 2]. Por lo tanto, el monitoreo activo de la concentración de oxígeno en áreas donde puede ocurrir una deficiencia de oxígeno, con una alarma sonora y visual asociada para alertar a las personas sobre el peligro, es una estrategia común y eficaz para prevenir la exposición de los trabajadores a atmósferas peligrosas [16, p. 68].

4.2.1 MONITOREO ATMOSFÉRICO Y ALARMAS EN FFG

Ausencia de monitoreo y alarmas en la línea 2

FFG había operado un congelador en espiral de nitrógeno líquido en la línea 2 a partir de mayo de 2020 (Sección 1.2). FFG y Messer dividieron sus responsabilidades según el cuadro que se muestra en la **Figura 5** (Sección 1.5). El cuadro de responsabilidad de la tarea no menciona específicamente el monitoreo atmosférico.

Durante la instalación del congelador de la línea 2, Messer llevó a cabo varias actividades de capacitación y administración de productos con técnicos de mantenimiento y el supervisor de empaque utilizando una lista de verificación titulada “Lista de verificación de proyectos alimentarios”.^a La lista de verificación incluía elementos específicos, cada uno de los cuales hacía referencia al monitoreo atmosférico de alguna manera, incluyendo:

^a Esta lista de verificación documentó las prácticas de administración del cliente de Messer al brindarle al cliente la capacitación y documentación necesarias sobre el equipo y el nitrógeno líquido.

- transmitir la ficha de datos de seguridad (SDS)^a del nitrógeno líquido a FFG. La SDS mencionó el uso del monitoreo atmosférico como medida de seguridad;
- discutir la disponibilidad de recursos adicionales para un manejo seguro, como la guía de la Asociación de Gas Comprimido (CGA, por sus siglas en inglés), la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA, por sus siglas en inglés) y la OSHA, cada una de las cuales, en distintos grados, mencionan la necesidad de monitoreo atmosférico;
- presentar a FFG los manuales de operación y mantenimiento de los congeladores de la línea 2 (que mencionaban el uso de monitoreo atmosférico); y
- un renglón que ordena a Messer analizar el monitoreo atmosférico con FFG. El cuadro de la lista de verificación para el monitoreo atmosférico no indicaba un “Sí” para la verificación como los demás para su finalización, sino que estaba en blanco.

Esta lista de verificación fue completada y firmada por FFG y Messer el 19 de mayo de 2020.

Messer recomendó, a través de su SDS, que sus clientes de nitrógeno líquido implementaran sistemas de detección de oxígeno en sus instalaciones. La SDS establecía: “deben utilizarse detectores de oxígeno cuando puedan liberarse gases asfixiantes” como control de ingeniería apropiado.

El PHA del congelador en espiral de la línea 2,^b realizado por un predecesor de Messer, identificó que una pérdida de contención de nitrógeno líquido podría provocar una deficiencia de oxígeno y daños personales. Entre otras salvaguardas, el PHA enumeró el uso de monitores atmosféricos como salvaguarda recomendada. Este PHA no se compartió con FFG y no era específica del proceso y las instalaciones de FFG, pero muestra que Messer tenía conocimiento institucional sobre la necesidad de monitoreo atmosférico.

A pesar de las acciones mencionadas anteriormente, FFG no instaló equipos de alarma y monitoreo atmosférico en el congelador en espiral de nitrógeno líquido de la línea 2.

En agosto de 2020, después de visitar la planta de FFG, un empleado de Messer envió un correo electrónico al vicepresidente ejecutivo superior de operaciones de FFG para expresar su preocupación y resaltar la ausencia de equipos de monitoreo atmosférico en un área de la planta adyacente a la línea 2. El correo electrónico decía:

Recomendamos encarecidamente el uso de monitores de oxígeno montados permanentemente [...] complementados con el uso de monitores personales/portátiles como parte del sistema de seguridad de la planta.

Adjunto una carta de monitores de gas con los fabricantes de monitores recomendados.

FFG no respondió al correo electrónico.

Ausencia de monitoreo y alarmas en la línea 4

Cuando FFG instaló el congelador en espiral por inmersión de la línea 4, Messer y FFG documentaron la misma tabla de responsabilidad de tareas para la línea 4 que para la línea 2. Al igual que con la línea 2, el gráfico no incluía ninguna

^a La Norma de comunicación de riesgos [sección 1910.1200(g) del Título 29 del CFR], revisada en 2012, exige que el fabricante, distribuidor o importador de productos químicos presente las SDS (anteriormente MSDS o fichas de datos de seguridad de materiales) de cada producto químico peligroso a los usuarios intermedios para comunicar información sobre estos peligros. La SDS incluye información como las propiedades de cada producto químico; los riesgos para la salud física, sanitaria y ambiental; medidas de protección; y precauciones de seguridad para el manejo, almacenamiento y transporte del producto químico.

^b El PHA fue llevado a cabo en 2004 por BOC, que finalmente fue adquirida por Linde y posteriormente por Messer.

mención específica del monitoreo atmosférico, aunque varias de las tareas incluían información que mencionaba la necesidad. Después del incidente, la administración de FFG dijo a la CSB que desconocían la necesidad de realizar un monitoreo atmosférico. Por el contrario, Messer le dijo a la CSB que “se les comunicó [a FFG] que necesitaban tener un monitor [de oxígeno]”. Al final, ni FFG ni Messer instalaron equipos de alarma y monitoreo atmosférico en el cuarto frío de la línea 4 ni en los equipos de congelación.

Messer creía que en ese momento no tenía ninguna obligación legal o contractual de instalar sistemas de alarma y monitoreo atmosférico en FFG. Tampoco la guía contemporánea de la CGA, que se analiza más adelante en la Sección 4.2.2.3, requería el uso de tales sistemas en FFG (aunque fueron recomendados). Dejando de lado las obligaciones contractuales o legales, en términos de seguridad, es irrelevante si era responsabilidad de FFG o de Messer instalar sistemas de alarma y monitoreo atmosférico. Ambas empresas podrían y deberían haber tomado medidas para maximizar la seguridad del funcionamiento del congelador de la línea 4 de FFG.

En resumen, la CSB concluye que Messer informó a FFG al menos en tres ocasiones de la necesidad de realizar un monitoreo atmosférico de sus procesos de nitrógeno líquido. A pesar de las recomendaciones de Messer, ni FFG ni Messer tomaron medidas para instalar equipos de monitoreo o alarma en el proceso de la línea 4, que podrían haber alertado a los trabajadores sobre la presencia de una atmósfera deficiente en oxígeno y, si se hubieran diseñado en consecuencia, podría haber provocado un cierre apagado de emergencia de los sistemas de nitrógeno líquido.

Como se analizó en la Sección 1.1.1, Gold Creek actualmente posee y opera el antiguo establecimiento de FFG. En el momento de la publicación de este informe, actualmente no existen procesos de congelación de nitrógeno líquido en las antiguas instalaciones de la planta 4 de FFG que ahora opera Gold Creek. Por lo tanto, la CSB no emite ninguna recomendación a Gold Creek relacionada con el monitoreo atmosférico o la ventilación de los procesos de nitrógeno líquido.

4.2.2 ORIENTACIÓN PARA LA INDUSTRIA EXISTENTE PARA SISTEMAS DE ALARMA Y MONITOREO ATMOSFÉRICO

Se comprende bien el riesgo de las atmósferas con deficiencia de oxígeno y existe una gran cantidad de guías disponibles, que se analizan a continuación, que, de seguirse, podrían haber ayudado a reducir la gravedad de este incidente.

4.2.2.1 Guía de la CSB

En junio de 2003, la CSB publicó un Boletín de Seguridad de Asfixia por Nitrógeno.^a El boletín dice [8, pp. 6-8]:

La atmósfera en un área pequeña y cerrada puede no ser apta para respirar antes de la entrada, o puede cambiar con el tiempo, dependiendo del tipo de equipo o trabajo que se esté realizando. Al reconocer este peligro, las buenas prácticas exigen un monitoreo continuo de un área cerrada para detectar atmósferas con deficiencia de oxígeno.

^a Este producto de la CSB, junto con un vídeo de seguridad sobre el mismo tema, se puede encontrar aquí: [Peligros de la asfixia por nitrógeno \(en inglés\) | CSB](#)

[...]

Los dispositivos de advertencia y protección, si se instalan y mantienen adecuadamente, advierten a los trabajadores sobre atmósferas peligrosas.

El manejo seguro del nitrógeno, descrito anteriormente, es eficaz solo si el personal está capacitado sobre la importancia del equipo de monitoreo atmosférico, tanto sobre cómo usarlo como cómo determinar cuándo no está funcionando correctamente. El personal debe estar capacitado sobre cómo responder y evacuar adecuadamente en caso de falla del sistema.

4.2.2.2 Guía del CCPS

El libro del CCPS *Monitoreo continuo de emisiones de materiales peligrosos* proporciona una guía sobre el uso del monitoreo atmosférico en interiores [17, pp. 63-64]:

Existen ocasiones en las que los equipos de proceso deben ubicarse en interiores debido a problemas relacionados con el clima o de control de calidad. En estos edificios debería preverse una detección de gases combustibles [y oxígeno]^a [...]. Esta detección debe configurarse para:

- Enviar una señal de alarma a una ubicación con personal continuo.
- Activar dispositivos de alarma visibles y audibles en el exterior del edificio en cada entrada y dentro de la estructura. Los dispositivos dentro de la estructura deben configurarse utilizando la guía para dispositivos de alarma contra incendios, según lo dispuesto en la NFPA 72, *Código Nacional de Alarmas de Incendio y Señalización*.

En algunos casos, también puede ser ventajoso que el sistema de detección inicie un apagado automático o aislamiento de las posibles fuentes de fuga dentro de la estructura. [...] En muchos casos, serán suficientes sistemas de apagado y aislamiento operados remotamente o medios de aislamiento ubicados remotamente.^b

4.2.2.3 Guía de la Asociación de Gas Comprimido

La CGA tiene numerosas directrices y publicaciones que abordan muchos aspectos del manejo seguro de gases industriales, incluido el manejo seguro de líquidos criogénicos, el almacenamiento de gases comprimidos en contenedores y atmósferas con deficiencia de oxígeno.

^a Aunque este extracto se refiere al monitoreo atmosférico de gases combustibles, la guía es igualmente aplicable a gases tóxicos o a peligros por deficiencia de oxígeno.

^b El Informe técnico de la ISA, *ISA-TR84.00.07, Orientación sobre la evaluación de la eficacia del sistema contra incendios, gases combustibles y gases tóxicos*, [55] ofrece una guía práctica sobre el diseño y la implementación de sistemas de monitoreo atmosférico y apagado de emergencia automatizado.

P-12 Guía para el manejo seguro de líquidos criogénicos y refrigerados de la CGA

La P-12 de la CGA tiene como objetivo proporcionar “información general sobre las propiedades, transporte, almacenamiento, manipulación segura y uso seguro de los líquidos criogénicos y refrigerados comúnmente utilizados por la industria y las instituciones. Está destinada a usuarios de líquidos criogénicos y refrigerados, transportistas, distribuidores, diseñadores o instaladores de equipos, administradores de seguridad y cualquier persona que busque una introducción a los líquidos criogénicos y refrigerados [18, p. 1]”.

En el momento del incidente, la norma establecía:

En caso de existir atmósferas con bajo contenido de oxígeno, se **debería** utilizar la instalación de analizadores equipados con alarmas para monitorear el contenido de oxígeno. Siempre que el personal ingrese a áreas cerradas, la atmósfera respirable deberá ser monitoreada constantemente mediante instrumentos apropiados [5, p. 17] (énfasis añadido).

En enero de 2023, la CGA publicó la séptima edición de la P-12 de la CGA, actualizando el siguiente texto sobre el monitoreo de oxígeno de “debería” a “deberá”: [18, pp. 8, 11]:^a

Las áreas donde puede haber una atmósfera deficiente en oxígeno deben ser monitoreadas por un sistema de monitoreo de área, [sistemas personales de monitoreo atmosférico],^b o una combinación de ambos, según lo determine una evaluación de peligros [18, p. 8] (énfasis añadido).

En caso de existir atmósferas con bajo contenido de oxígeno, según lo determinado por una evaluación de riesgos, se **deberá** utilizar la instalación de analizadores equipados con alarmas para monitorear el contenido de oxígeno. Siempre que el personal ingrese a áreas cerradas, la atmósfera respirable deberá ser monitoreada constantemente mediante instrumentos apropiados [18, p. 11] (énfasis añadido).

P-18 Estándar para sistemas de gas inerte a granel de la CGA

Conforme a la CGA:

Esta norma contiene requisitos mínimos para localizar/ubicar, seleccionar equipos, instalar, poner en marcha, mantener y retirar sistemas de suministro de gas inerte a granel [19, p. 1].

La CGA define los límites de un sistema de suministro de gases inertes a granel:

El sistema de suministro de gases inertes a granel termina en la válvula, donde el suministro de gas o líquido ingresa por primera vez a la línea de suministro [19, p. 1].

^a El cambio en esta directriz de “debería” a “deberá” se realizó después del incidente de FFG en 2021.

^b Los sistemas personales de monitoreo atmosférico suelen ser equipos de monitoreo atmosférico portátiles o adaptados al usuario, a diferencia de los monitores atmosféricos fijos o montados permanentemente.

La norma establece lo siguiente:

Las áreas interiores donde se instalen sistemas de gas inerte a granel deberán ser monitoreadas continuamente con un sistema de monitoreo atmosférico. El sistema proporcionará una alarma sonora y visual cuando el nivel de oxígeno baje al 19.5 %. La alarma estará ubicada dentro del área e inmediatamente fuera de todas las entradas al área interior. El sistema de monitoreo atmosférico también deberá enviar una señal a una estación central de monitoreo o a un lugar continuamente ocupado si hay uno en el sitio. El diseño del sistema de monitoreo deberá permitir pruebas de rutina para demostrar la funcionalidad [19, p. 17] (énfasis añadido).

Cabe señalar que este requisito se aplica a los sistemas de almacenamiento a granel que se instalan en interiores, y no a las maquinarias de aplicación como el congelador por inmersión de FFG, o a los sistemas de almacenamiento a granel instalados en exteriores, como fue el caso en FFG. Sin embargo, la P-18 de la CGA se encuentra entre las muchas guías emitidas por la CGA que destacan la importancia de utilizar el monitoreo atmosférico cuando existe la posibilidad de que se produzca una atmósfera deficiente en oxígeno.

P-76 Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno de la CGA

La guía relevante P-76 de la CGA incluye:

En procesos donde se manipulen líquidos criogénicos y se produzca vaporización, se deberá tener cuidado para evitar situaciones en las que el personal quede expuesto a deficiencia de oxígeno [6, p. 5].

La norma contiene una lista de ejemplos de dichos espacios y, entre los diversos ejemplos, se identifican explícitamente los sitios que contienen congeladores de alimentos con nitrógeno líquido [6, p. 5].

Existe una serie de situaciones en las que se debe evaluar la necesidad de ventilación o monitoreo atmosférico para evitar incidentes de asfixia por gases inertes o agotamiento de oxígeno.

La aparición de una atmósfera deficiente en oxígeno dentro de un área depende de la ventilación del área, el volumen del espacio y de cuánto flujo de gas (caudal o cantidad) podría fugarse. A partir de esta consideración, se realizará una evaluación de riesgos y se implementarán medidas de control adecuadas para alcanzar el nivel de seguridad esperado [6, p. 7].

También se debe considerar el uso de monitoreo atmosférico en el lugar de trabajo, por ejemplo, usando un analizador de oxígeno personal o instalando un analizador en el área de trabajo. La ubicación del monitor se basará en una evaluación [...] [6, p. 8] (énfasis añadido).

4.2.2.4 Guía del International Code Council

El International Code Council (ICC) [20] es el autor del *Código Internacional de Protección contra Incendios* (IFC, por sus siglas en inglés). El IFC contiene guías tanto para los gases comprimidos como para los líquidos criogénicos, incluidos aquellos que no son inflamables ni combustibles. Con respecto al monitoreo atmosférico de los gases comprimidos, el IFC afirma:

Sistema de detección de gases. En los sitios o las áreas que no estén provistos de ventilación [...], se deberá proporcionar un sistema de detección de gas [o] un sistema de alarma de agotamiento de oxígeno, cualquiera de los cuales inicie señales de alarma audibles y visibles en el cuarto o área donde estén instalados los sensores [21, pp. 53-7].^a

Esta guía no se aplicó al sistema de nitrógeno líquido de FFG porque el IFC solo la aplica a gases comprimidos. Respecto al uso del monitoreo atmosférico para líquidos criogénicos, la norma establece:

Los fluidos criogénicos inertes, incluidos argón, helio y nitrógeno, deberán cumplir con la ANSI/CGA P-18 [21, pp. 55-1].^b

4.2.2.5 Guía de la NFPA

Con respecto al uso de fluidos criogénicos, la guía NFPA 55, *Código de gases comprimidos y fluidos criogénicos* establece:

El almacenamiento, uso y manipulación de fluidos criogénicos inertes se realizarán de acuerdo con la ANSI/CGA P-18, *Estándar para sistemas de gas inerte a granel en sitios de consumidores* [22, pp. 55-35].^c

La guía NFPA 55 contiene orientación sobre el uso de monitoreo atmosférico para gases corrosivos,^d gases tóxicos y altamente tóxicos,^e hidrógeno,^f dióxido de carbono,^g óxido de etileno^h y acetileno,ⁱ pero no para los agentes asfixiantes criogénicos como el nitrógeno líquido.

4.2.2.6 Falta de adherencia a la orientación para la industria

A pesar de la orientación para la industria, FFG no equipó el cuarto frío de la línea 4 con un sistema de monitoreo atmosférico que monitoreara continuamente una atmósfera respirable y notificara al personal mediante alarmas para evacuar el área si no fuese segura. La no implementación de dicho sistema provocó que al menos 14 empleados entraran o se acercaran a la atmósfera con deficiencia de oxígeno el día del incidente. Los trabajadores de FFG no recibieron capacitación sobre los peligros de atmósferas deficientes en oxígeno (Sección 4.4.1.5). Sin monitoreo atmosférico y alarmas, el personal del sitio probablemente no estaba consciente del peligro que los rodeaba cuando el congelador se desbordó. La CSB concluye que FFG no siguió las orientaciones para la industria sobre el uso de monitoreo atmosférico y

^a Sección 5307.2.1 del IFC (edición 2021)

^b Sección 5501.1 del IFC (edición 2021)

^c Sección 8.1.2 de la guía NFPA 55 (edición 2020)

^d Sección 7.5 de la guía NFPA 55 (edición 2020)

^e Sección 7.9 de la guía NFPA 55 (edición 2020)

^f Sección 10 de la guía NFPA 55 (edición 2020)

^g Sección 13 de la guía NFPA 55 (edición 2020)

^h Sección 14 de la guía NFPA 55 (edición 2020)

ⁱ Sección 15 de la guía NFPA 55 (edición 2020)

alarmas para su proceso de nitrógeno líquido y, como resultado, mucho personal no sabía que no era seguro ingresar al cuarto frío el día del incidente.

La CSB concluye que si Messer o FFG hubieran considerado, diseñado, instalado, probado y mantenido adecuadamente un sistema de alarma y monitoreo atmosférico en el cuarto frío, los trabajadores habrían sido advertidos contra la entrada a la atmósfera deficiente en oxígeno, lo que podría haber evitado las posteriores muertes y lesiones graves a los trabajadores de FFG.

4.2.3 DEFICIENCIAS EN LA ORIENTACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LOS SISTEMAS DE ALARMA Y MONITOREO ATMOSFÉRICO

Existe abundante orientación para la industria sobre la necesidad y el uso de alarmas y monitoreo atmosférico para prevenir la exposición humana a atmósferas inseguras. Sin embargo, esta guía podría reforzarse para prevenir futuros incidentes relacionados con agentes asfixiantes criogénicos.

Necesidad de armonización de las normas de la CGA

Como se señaló anteriormente, tanto las directrices de la guía CGA P-12 como de la guía CGA P-18 requieren monitoreo atmosférico en áreas donde puede ocurrir una atmósfera deficiente en oxígeno. Sin embargo, la guía CGA P-76 describe el uso de tales sistemas como una consideración más que como un requisito.

La CSB recomienda que la CGA actualice la guía CGA P-76 para exigir que los sistemas de monitoreo atmosférico se utilicen con procesos, equipos y sistemas de tuberías capaces de detectar atmósferas con deficiencia de oxígeno, y exigir que los sistemas de monitoreo atmosférico proporcionen indicaciones de alarma visibles y audibles distintas del sistema de alarma contra incendios del edificio en un lugar con asistencia continua.

Brecha en la guía sobre fluidos criogénicos del IFC y la NFPA

Tanto el IFC como la guía NFPA 55 contienen directrices para el uso y manipulación de gases comprimidos y fluidos criogénicos. En ambas normas, la guía para el uso de gases comprimidos es extensa, y para el uso de monitoreo atmosférico para gases comprimidos, la guía de ambas normas suele ser prescriptiva o requerida como alternativa a una ventilación adecuada, dependiendo de las características del gas comprimido y la instalación. Esta guía podría haber reducido la gravedad de este incidente si se hubiera aplicado a los agentes asfixiantes criogénicos como el nitrógeno líquido y se hubiera aplicado en FFG. En cambio, para el uso de monitoreo atmosférico con nitrógeno líquido, ambas normas simplemente hacen referencia a la CGA P-18 *Estándar para sistemas de gas inerte a granel* y, por lo demás, no contienen una guía específica sobre el monitoreo atmosférico para nitrógeno líquido.

La guía CGA P-18 solo abarca el almacenamiento a granel de gases inertes y líquidos criogénicos, no el uso final de equipos como el congelador en espiral por inmersión de la línea 4 de FFG y, por lo tanto, la norma no se aplicaba al congelador por inmersión de FFG ni al sitio en el que estaba ubicado. Por lo tanto, existe una brecha en la cobertura de la NFPA y el IFC sobre el monitoreo atmosférico de agentes asfixiantes criogénicos, incluido el nitrógeno líquido. La NFPA y el IFC deberían cerrar esta brecha.

LECCIÓN CLAVE

Los establecimientos que manejan gases peligrosos o agentes asfixiantes criogénicos deben tener un sistema de alarma y monitoreo atmosférico en funcionamiento basado en una evaluación de riesgos realizada adecuadamente. Los sistemas de monitoreo atmosférico en funcionamiento consisten en equipos que han sido diseñados, instalados, mantenidos, inspeccionados y probados adecuadamente, y alertarán al personal sobre una atmósfera peligrosa mediante alarmas sonoras y visuales.

La CSB recomienda que el IFC actualice el Código Internacional de Protección contra Incendios para exigir el uso de monitoreo atmosférico con agentes asfixiantes criogénicos de acuerdo con la orientación para la industria, como la contenida en la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA y la P-12 *Manejo seguro de líquidos criogénicos* de la CGA, además de la P-18 *Estándar para sistemas de gas inerte a granel* de la CGA.

La CSB recomienda que la NFPA actualice su *Código de gases comprimidos y fluidos criogénicos* para requerir el uso de monitoreo atmosférico con agentes asfixiantes criogénicos de acuerdo con la orientación para la industria, como la contenida en la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA y la P-12 *Manejo seguro de líquidos criogénicos* de la CGA, además de la P-18 *Estándar para sistemas de gas inerte a granel* de la CGA.

Necesidad de una norma integral de nitrógeno líquido

La CGA ha establecido pautas para la producción, almacenamiento, transporte, manipulación y uso seguro de dióxido de carbono gaseoso, líquido y sólido, una sustancia tóxica sofocante con peligros similares al nitrógeno líquido. La guía G-6.5, *Estándar para pequeños sistemas estacionarios de suministro de dióxido de carbono aislados* de la CGA,^a sirve como una norma integral para sistemas de aplicación de dióxido de carbono [23, p. 1].^b La guía G-6.5 de la CGA analiza la implementación de salvaguardias clave contra el riesgo de asfixia, que incluyen:

- la ubicación y mantenimiento requerido de los monitores atmosféricos [23, pp. 7-8, 10];
- requisitos para alarmas sonoras y visuales en respuesta a una atmósfera con deficiencia de oxígeno [23, p. 9];
- diseño, función y ubicación de los sistemas de ventilación de los sitios [23, p. 6];
- requisitos de PPE para entrar en una atmósfera con deficiencia de oxígeno causada por la presencia de dióxido de carbono [23, p. 6];
- peligros introducidos por la instalación de sistemas de dióxido de carbono en espacios cerrados, empotrados y sin ventilación [23, p. 8]; y
- Restricciones de entrada a áreas con potencial de atmósferas deficientes en oxígeno [23, p. 15].

A pesar de la guía general de la CGA mencionada en otras partes de este informe, no existe una norma integral equivalente específicamente para los sistemas de aplicación de nitrógeno líquido. La guía G-6.5 de la CGA presenta varias salvaguardas críticas igualmente aplicables para sistemas de dióxido de carbono y nitrógeno líquido que pueden causar asfixia, como se analiza a continuación.

^a La CSB eligió la guía G-6.5 de la CGA, *Estándar para pequeños sistemas estacionarios de suministro de dióxido de carbono aislados* como ejemplo de norma integral debido a las naturalezas similares del dióxido de carbono líquido criogénico y el nitrógeno, y su uso similar en la industria alimentaria. Específicamente, la norma para pequeños sistemas estacionarios de dióxido de carbono aborda operaciones como aquellas instalaciones con sistemas de nitrógeno en instalaciones de procesamiento de pollos, a diferencia de una norma similar para sistemas grandes, G-6.1 *Estándar para grandes sistemas de suministro de dióxido de carbono líquido aislados en sitios de consumo* de la CGA.

^b El IFC también proporciona una guía comparable para sistemas de dióxido de carbono en la Sección 5307.3 *Sistemas de dióxido de carbono líquido aislados utilizados en aplicaciones de despacho de bebidas*.

Respecto al requisito de monitoreo atmosférico con alarmas, la G-6.5 de la CGA establece:

Se **instalará** un detector de dióxido de carbono con un sistema de alarma adecuado donde **puedan acumularse** concentraciones peligrosas de dióxido de carbono [...] [23, p. 6] (énfasis añadido);

Se instalará un sistema de monitoreo de dióxido de carbono con alarma sonora o visual adecuada para detectar concentraciones peligrosas de dióxido de carbono [23, p. 9] (énfasis añadido);

El sistema de detección de fugas de dióxido de carbono, cuando se active, **hará** sonar una alarma audible dentro del sitio o área en la que esté instalado el sistema. Los sistemas de detección de gas **se instalarán y mantendrán** de acuerdo con las instrucciones del fabricante [23, p. 10] (énfasis añadido); y

Los monitores de dióxido de carbono instalados deben verificarse de acuerdo con las directrices del fabricante del monitor para verificar su funcionamiento adecuado y la frecuencia de inspección [...]. Asegurarse de que la colocación de monitores de dióxido de carbono y señales de advertencia cumplan con los requisitos [locales] [23, p. 15].

Con respecto a la ubicación de equipos para la identificación de agentes asfixiantes criogénicos en áreas cerradas y la necesidad crítica de una ventilación correctamente instalada, la guía G-6.5 de la CGA establece:

Las áreas cerradas y mal ventiladas pueden incluir [...] lugares exteriores, como uno con cuatro paredes sólidas abiertas a la atmósfera. Incluso si no hay techo ni cielorraso, todavía se considera un espacio cerrado porque el dióxido de carbono no se dispersará porque es más pesado que el aire [23, p. 7];

Los sistemas de ventilación extraerán desde el nivel más bajo y el aire de reposición entrará por un punto más alto.^a La tasa de flujo de llenado y escape deberá cumplir con los requisitos del código [23, p. 6];

Los sistemas de HVAC comerciales estándar o los ventiladores adicionales normalmente no brindan suficiente protección [...] para la ventilación con dióxido de carbono [23, p. 6]; y

[L]as aberturas [...] deberán espaciarse para crear ventilación cruzada y ubicarse lo más bajo posible para garantizar que el dióxido de carbono no se acumule y cause exposición a los ocupantes. Cualquier instalación que no cumpla con estos criterios debe considerarse una instalación cerrada [23, p. 8].

La CSB concluye que la orientación para la industria sobre el dióxido de carbono es extensa. Unas directrices comparables y específicas para el nitrógeno líquido podrían ayudar a prevenir futuros incidentes similares al de FFG.

^a El dióxido de carbono es más pesado que el aire y se acumula en puntos bajos, similar al nitrógeno líquido vaporizado y frío.

En consecuencia, la CSB recomienda que la CGA desarrolle una norma integral para el almacenamiento, manejo y uso seguro de nitrógeno líquido en instalaciones fijas, comparable a la guía presentada en la G-6.5 *Estándar para pequeños sistemas estacionarios de suministro de dióxido de carbono aislados* de la CGA. Como mínimo, la norma debería incluir:

- a) requisitos y guía sobre la ubicación, el mantenimiento y las pruebas funcionales de los dispositivos de monitoreo atmosférico;
- b) requisitos para alarmas sonoras y visuales distintas del sistema de alarma contra incendios del edificio y en un lugar con asistencia continua; y
- c) guía sobre el tamaño, diseño, función, mantenimiento y pruebas periódicas y ubicación de los sistemas de ventilación de emergencia y de los cuartos.

4.3 PREPARACIÓN PARA EMERGENCIAS

Una preparación eficaz para emergencias puede reducir las consecuencias de un incidente catastrófico. FFG no tenía un plan de acción de emergencia (EAP, por sus siglas en inglés) para una fuga de nitrógeno líquido, no capacitó a sus empleados sobre cómo reconocer o responder a dicha fuga y no los equipó para responder de manera segura.

4.3.1 REQUISITOS NORMATIVOS

EPCRA

La Ley de Planificación para Emergencias y Derecho a Saber de la Comunidad (EPCRA, por sus siglas en inglés), que es una parte de la Ley de Enmiendas y Reautorización del Superfondo (SARA, por sus siglas en inglés), establece muchos requisitos para la preparación comunitaria para emergencias [24]. Debido a que FFG utilizó más de 10,000 libras de nitrógeno líquido, las Secciones 311-312 de la EPCRA exigían que FFG presentara cierta información a las organizaciones locales de respuesta a emergencias.

Según la EPCRA, FFG debía 1) presentar una SDS para nitrógeno líquido a las organizaciones de respuesta locales y 2) presentar un informe anual a dichas organizaciones detallando, entre otros requisitos, que FFG utilizaba nitrógeno líquido, su inventario de nitrógeno líquido y dónde y cómo se utilizaba nitrógeno líquido en sus instalaciones.

La norma de HAZWOPER de la OSHA

La norma de Operaciones de Residuos Peligrosos y Respuesta de Emergencia (HAZWOPER, por sus siglas en inglés) de la OSHA (que se encuentra en la Sección 1910.120 del Título 29 del CFR) requiere conforme a la sección 1910.120(q)(1) que los empleadores desarrollen un plan de respuesta a emergencias (ERP, por sus siglas en inglés). Según la sección 1910.120(q)(2), la norma requiere, entre otras cosas, que los ERP contengan disposiciones para:

- la planificación previa y la coordinación con organizaciones de respuesta externas;
- el reconocimiento y prevención de emergencias;
- los procedimientos de alerta y respuesta de emergencia;
- la capacitación de empleados de manera que solo los empleados capacitados respondan a una emergencia;
- el PPE y equipos de emergencia.

La aplicabilidad de la norma de HAZWOPER no se limita a las sustancias cubiertas por la norma de PSM de la OSHA. La OSHA, en su sitio web,^a tiene un diagrama de flujo que se utiliza para determinar si un incidente requiere una respuesta de emergencia. Según el diagrama de flujo, un incidente que involucre nitrógeno líquido, que puede crear una atmósfera con deficiencia de oxígeno, requiere una respuesta de emergencia según la norma de HAZWOPER o una evacuación conforme a la sección 1910.38 del Título 29 del CFR.

^a <https://www.osha.gov/emergency-preparedness/hazardous-waste-operations/background>

4.3.2 PREPARACIÓN INEFICAZ PARA EMERGENCIAS

Plan de acción de emergencia de FFG

El EAP de FFG consistió en una presentación de 46 diapositivas escritas en inglés.^a El EAP contenía el siguiente material:

- Rutas de evacuación y puntos de reunión específicos para cada edificio del establecimiento.
- Requisitos generales de seguridad de las rutas de salida, como el requisito de un número adecuado de rutas disponibles, que las rutas tengan señalización adecuada y que las rutas se mantengan libres de obstáculos que puedan dificultar su uso.
- Ubicaciones de refugio en el lugar
- Ubicación de las estaciones de duchas de seguridad y lavado de ojos
- El requisito de que “el personal designado realice tareas de rescate [...] médicas y de primeros auxilios”
- Requisitos de notificación de incidentes

El EAP de FFG no mencionó el nitrógeno líquido. Aparte de las instrucciones generales de evacuación y refugio en el lugar, el plan no contenía ninguna orientación para los empleados sobre cómo responder, si responder o cuándo responder a una emergencia, o qué constituía una emergencia. El plan requería “personal designado” para realizar tareas de rescate y primeros auxilios, pero en respuesta a una solicitud de información de la CSB, FFG escribió que:

FFG no cuenta con empleados capacitados o calificados para realizar tareas de rescate ni tareas de primeros auxilios. Cuando surja la necesidad, llamaremos al 911 para solicitar ayuda del [departamento de bomberos].

La CSB no encontró evidencia de que FFG tuviera políticas o procedimientos formalizados para responder a una fuga de nitrógeno líquido. La CSB concluye que, aunque FFG tenía un plan de acción de emergencia escrito, era muy inadecuado para abordar una emergencia de nitrógeno líquido. Sus deficiencias incluyeron que 1) no estaba escrito en español, el cual era el idioma principal de muchos de los trabajadores de FFG; 2) no hacía mención a la existencia de nitrógeno líquido en la instalación; 3) no hacía mención de los peligros del nitrógeno líquido; 4) no tenía instrucciones sobre cómo responder, si responder y cuándo responder a una fuga de nitrógeno líquido, aparte de las instrucciones generales de evacuación; 5) no contenía información ni plan sobre cómo se debía notificar a los empleados sobre una emergencia; 6) no contenía información sobre lo que constituía una emergencia o qué tipos de emergencias a las que los empleados podrían necesitar responder; y 7) no tenía ninguna disposición para interactuar proactivamente con los socorristas locales a pesar de la práctica declarada de la empresa de confiar en ellos para la respuesta de emergencia.

Falta de advertencia y mala comunicación de emergencia

Como se mencionó anteriormente, FFG no tenía sistemas de monitoreo atmosférico ni alarmas para alertar a los empleados sobre una fuga de nitrógeno líquido o la presencia de una atmósfera deficiente en oxígeno (Sección 4.2.1). El resultado fue que muchos de los empleados que respondieron al incidente o evacuaron las instalaciones no tenían idea de cuál era la emergencia; solo que algunos de sus compañeros de trabajo estaban desaparecidos. Además, la noticia de la emergencia y la orden de evacuación solo se difundió de boca en boca, en lugar de mediante un sistema de alarma o notificación en toda la planta, que no existía en las instalaciones (aparte de la alarma contra incendios del edificio). La CSB concluye que, como

^a Una gran mayoría de la fuerza laboral de la planta 4 de FFG, incluidos cinco de los seis trabajadores que resultaron con lesiones mortales, no hablaban inglés o no hablaban inglés como idioma principal.

resultado de la mala comunicación de emergencia de FFG, los empleados que intentaron responder al incidente o evacuar el edificio fueron mínimamente informados, si es que recibieron algún tipo de información, sobre la naturaleza y gravedad de la emergencia.

Retraso en la notificación de emergencia

Hubo un retraso en la notificación a los bomberos. FFG comenzó la evacuación del edificio aproximadamente a las 9:55 a. m., pero la primera llamada al 911 no fue realizada hasta las 10:11 a. m. (Sección 2.2.2).

Una de las trabajadoras que pereció a causa de las lesiones todavía estaba viva cuando los bomberos la rescataron, pero murió poco después en el departamento de emergencias del hospital. La **Tabla 2** a continuación resume el cronograma de respuesta con respecto a esta trabajadora fatalmente lesionada. La notificación inmediata a los socorristas es fundamental en las emergencias y podría haber evitado la muerte de esta trabajadora.

Tabla 2. Cronología del incidente centrada en la trabajadora que murió en el hospital.

Hora	Suceso
9:55 a. m. (aprox.)	FFG inicia la evacuación de la planta 4
Entre 9:55-10:10 a. m. (aprox.)	La trabajadora ingresa al cuarto frío de la línea 4 y queda inconsciente
10:11 a. m.	Primera llamada de FFG al 911
10:21 a. m. (aprox.)	Los bomberos llegan al lugar
10:36 a. m. (aprox.)	La trabajadora es recuperada de la planta 4 de FFG
10:46 a. m.	La trabajadora es entregada con vida, pero en estado crítico, al servicio de urgencias
11:00 a. m.	La trabajadora es declarada muerta

Fuerza laboral no preparada

Los empleados de FFG en todos los niveles de la organización desconocían la existencia de nitrógeno líquido en el establecimiento, los peligros del nitrógeno líquido o ambos (**Tabla 3**, Sección 4.4.1.5). Además de esta falta generalizada de conocimiento sobre la presencia y los peligros del nitrógeno líquido, varios empleados dijeron a la CSB que la empresa no realizó ningún simulacro para detectar una fuga de nitrógeno líquido o un incendio.

Cuatro empleados más murieron (incluido la empleada que murió en el hospital) y tres resultaron con lesiones de gravedad durante la respuesta a la fuga de nitrógeno líquido y la evacuación. Ninguno de estos empleados normalmente trabajaba en el cuarto frío de la línea 4, y sus rutas normales de evacuación de las instalaciones no los habrían llevado a través del cuarto frío. La CSB concluye que los cuatro trabajadores que posteriormente resultaron con lesiones mortales estaban intentando algún tipo de respuesta ante la fuga. La CSB no encontró evidencia de que FFG capacitara a sus empleados para no responder a emergencias. Además de no mencionar el nitrógeno líquido o sus peligros, la presentación de diapositivas del EAP de FFG, que se mostró a los empleados en el momento de la contratación inicial, no ordenó a los empleados que no respondieran y, en cambio, simplemente contenía instrucciones sobre cómo evacuar el edificio. En declaraciones

posteriores al incidente proporcionadas a la OSHA, algunos trabajadores (menos de 10) le dijeron a la OSHA que habían visto un video o que los supervisores les habían dicho en el pasado sobre cómo evacuar el edificio durante una emergencia, pero ninguno de ellos mencionó el nitrógeno líquido en esas declaraciones, y la mayoría de las declaraciones de los trabajadores se centraron en incendios o emergencias climáticas.

Varios empleados de FFG^a que estuvieron expuestos a la atmósfera con deficiencia de oxígeno pero que sobrevivieron al incidente le dijeron a la CSB que estaban investigando directamente o respondiendo de otra manera al incidente cuando resultaron lesionados o casi lesionados, a pesar de carecer de capacitación o equipo^b para hacerlo de manera segura. Uno de ellos perdió el conocimiento, fue rescatado por otros empleados que acudieron y pasó dos días recuperándose en el hospital. Otro informó que se agachó para intentar rescatar a otra empleada (la trabajadora mencionada anteriormente en la **Tabla 2**), se sintió mareado y desorientado, y casi se desmayó antes de escapar por sus propios medios.^c Muchos otros empleados que informaron haber respondido al incidente no resultaron lesionados o sufrieron lesiones leves. Sin embargo, cualquiera de ellos fácilmente podría haber resultado con lesiones de gravedad o mortales. En total, al menos 14 empleados (aproximadamente el 10 % de la fuerza laboral del establecimiento) respondieron a la fuga de nitrógeno líquido: cuatro de ellos resultaron con lesiones mortales,^d tres resultaron con lesiones graves y al menos siete resultaron ilesos o sufrieron lesiones menores.

La CSB concluye que FFG no preparó a su fuerza laboral de manera significativa para responder a una fuga de nitrógeno líquido. Las deficiencias de la empresa incluyeron 1) la falta de capacitación en respuesta de emergencia para su fuerza laboral; 2) su falta de capacitación de los empleados sobre cómo identificar una fuga de nitrógeno líquido; 3) la falta de medios automatizados para detectar e informar a sus trabajadores sobre una fuga de nitrógeno líquido; e 4) instrucciones insuficientes a sus empleados para que no respondan o intenten socorrer durante una fuga de nitrógeno líquido.

Como resultado de la falta de preparación de FFG, la gravedad del incidente aumentó considerablemente durante las actividades de evacuación y respuesta cuando cuatro empleados adicionales resultaron con lesiones mortales, tres empleados resultaron con lesiones de gravedad y al menos otros siete sufrieron lesiones leves o resultaron ilesos, pero podrían haber sufrido lesiones graves o mortales. Si FFG hubiera preparado eficazmente a su personal para una fuga de nitrógeno líquido, se podrían haber evitado las cuatro muertes adicionales y tres de las cuatro lesiones graves.^e

^a La CSB tiene conocimiento de al menos siete empleados que respondieron de alguna manera pero resultaron ilesos o no resultaron con lesiones graves.

^b FFG no tenía equipo ni PPE que hubiera permitido a los trabajadores ingresar a una atmósfera con deficiencia de oxígeno, como sistemas de suministro de aire o SCBA.

^c Este empleado (el gerente de mantenimiento de la planta 4) estuvo a punto de asfixiarse durante su intento de respuesta. Sin embargo, debido a que no fue admitido en el hospital, sus lesiones no se consideraron “graves” según los requisitos de notificación de lesiones de la CSB. Aunque no se cuenta entre las cuatro personas (tres empleados y un bombero) que resultaron con lesiones graves en este incidente, este empleado pudo haber muerto.

^d Estos se suman a los dos trabajadores de mantenimiento que murieron inicialmente.

^e La cuarta lesión grave la sufrió un bombero que respondía al incidente, y esta lesión probablemente habría ocurrido independientemente de cualquier acción tomada por FFG que no fuera impedir la fuga por completo.

4.3.3 ACCIONES POSTERIORES AL INCIDENTE: PREPARACIÓN PARA EMERGENCIAS

La CSB solicitó información a Gold Creek relacionada con sus políticas y procedimientos de preparación para emergencias. Gold Creek presentó un documento de política titulado *Programa de acción de emergencia* y varios procedimientos de emergencia. Los procedimientos de emergencia ofrecen instrucciones en forma de lista de verificación para las instalaciones de Gold Creek en caso de incendio, tornado, fuga de amoníaco, fuga de nitrógeno líquido, terremoto y otras emergencias. Cada uno de los procedimientos de emergencia está escrito tanto en inglés como en español.

La CSB concluye que los documentos de política y los procedimientos de emergencia de Gold Creek son más sólidos que el plan de acción de emergencia de FFG en el momento del incidente y podrían haber reducido la gravedad de este incidente si FFG hubiera implementado políticas y procedimientos similares. En consecuencia, la CSB no hace recomendaciones a Gold Creek relacionadas con el desarrollo de políticas o procedimientos de preparación para emergencias. Sin embargo, las políticas y procedimientos deben implementarse y comunicarse de manera eficaz en los idiomas relevantes. El EAP de Gold Creek incluye disposiciones para la capacitación en la contratación inicial, con capacitaciones de actualización anuales como mínimo. Por lo tanto, la CSB no hace ninguna recomendación a Gold Creek en relación con la capacitación de los empleados para su EAP.

El programa de acción de emergencia de Gold Creek, al igual que el de FFG antes, depende de los socorristas locales para realizar tareas médicas, de rescate y de extinción de incendios durante las emisiones de nitrógeno líquido y otras emergencias. Sin embargo, la política no prevé la interacción con los socorristas locales para informarles y prepararlos para las emergencias a las que Gold Creek espera que respondan. Por lo tanto, la CSB recomienda a Gold Creek incluir en el programa de acción de emergencia disposiciones para interactuar proactivamente e informar a los recursos locales de respuesta a emergencias sobre todas las emergencias en las antiguas instalaciones de la planta 4 de FFG a las que Gold Creek espera que respondan. Como mínimo, Gold Creek debería:

- a) informar a los socorristas locales sobre la existencia, naturaleza y ubicación de sustancias peligrosas en sus instalaciones, incluido el nitrógeno líquido;
- b) informar a los socorristas locales sobre la ubicación de los equipos críticos para emergencias, como tanques de almacenamiento a granel, puntos de uso, válvulas de aislamiento, interruptores de apagado de emergencia y cualquier otro equipo o sistema de emergencia con el que los socorristas puedan necesitar interactuar; y
- c) proporcionar a los socorristas locales información, como planos de localización, dibujos de ingeniería u otra información necesaria para montar una respuesta de emergencia eficaz.

4.3.4 PARADAS DE EMERGENCIA

Como se muestra en la **Figura 20** a continuación, el cuarto frío de la línea 4 de FFG estaba equipado con 10 botones de parada de emergencia, que fueron diseñados para apagar los congeladores por inmersión y en espiral, así como para cerrar las válvulas de suministro de nitrógeno líquido a los congeladores.

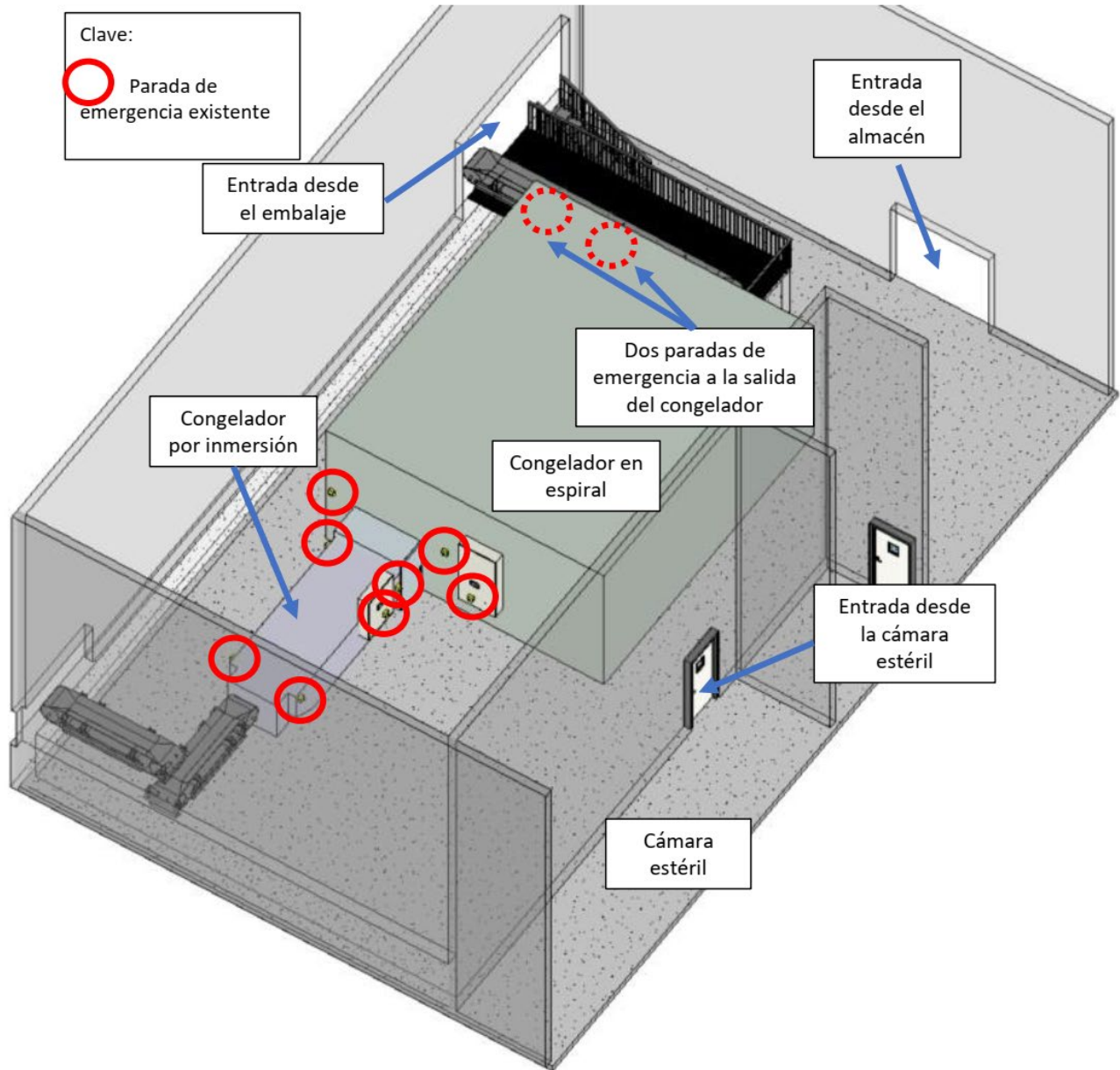


Figura 20. Ubicaciones de las paradas de emergencia del congelador en espiral por inmersión de la línea 4 en el momento del incidente. (Crédito: CSB)

Como se muestra, los 10 botones de parada de emergencia constaban de cinco botones en cada congelador; uno a cada lado de la entrada y salida de cada congelador, y uno en cada panel HMI. Los 10 botones estaban ubicados dentro del cuarto frío. El resultado de esta ubicación fue que la activación de cualquiera de los botones de parada de emergencia requería que alguien se acercara a la fuente de fuga para activar una parada de emergencia. Como se indicó anteriormente, FFG no tenía empleados equipados ni capacitados para responder a emergencias y, como resultado, después de que comenzó la fuga,

nadie en la empresa pudo activar de manera segura ninguna de las paradas de emergencia.^a La única forma en que alguien en la empresa podía cerrar de manera segura el flujo de nitrógeno líquido durante una fuga incontrolada era cerrando manualmente las válvulas de descarga del tanque de almacenamiento a granel, que estaban ubicadas afuera y en el otro extremo del edificio.

La CSB concluye que la ubicación de los botones de parada de emergencia del congelador en espiral por inmersión de la línea 4 requirió que un empleado o una persona que no se encontrara en el cuarto frío ingresara a una atmósfera con deficiencia de oxígeno durante una fuga de nitrógeno líquido para activar una parada de emergencia. Este diseño no era seguro. Como resultado, una vez que los dos trabajadores de mantenimiento de FFG quedaron incapacitados, la fuga incontrolada de nitrógeno líquido no pudo detenerse de manera segura hasta que los empleados cerraron manualmente las válvulas en los tanques de almacenamiento de nitrógeno líquido a granel fuera del edificio o hasta que los socorristas equipados para ingresar a una atmósfera con deficiencia de oxígeno pudieran ingresar al cuarto frío y activar una parada de emergencia. Una colocación más segura de los botones de parada de emergencia y una capacitación eficaz de los empleados sobre su uso podrían haber ayudado a prevenir la muerte de algunos o de los cuatro empleados que fallecieron durante la respuesta de emergencia.

4.3.5 ORIENTACIÓN PARA LA INDUSTRIA SOBRE LA UBICACIÓN DEL INTERRUPTOR DE EMERGENCIA

Varios grupos industriales ofrecen orientación sobre el diseño y la ubicación adecuados de los interruptores de emergencia para su uso en procesos como el de FFG.

La norma ISO 13850

La norma ISO 13850 *Seguridad de las máquinas – Función de parada de emergencia – Principios para el diseño* es una norma internacional publicada por la Organización Internacional para la Normalización (ISO, por sus siglas en inglés). En cuanto a la colocación de paradas de emergencia, la norma requiere una evaluación de riesgos y establece:

Se ubicará un dispositivo de parada de emergencia:

- En cada puesto de control del operador, excepto cuando la evaluación de riesgos indique que esto no es necesario;
- En otras ubicaciones, según lo determine la evaluación de riesgos, p. ej.:
 - En los lugares de entrada y salida;
 - En ubicaciones donde es necesario intervenir en la maquinaria, p.ej., operaciones con función de control de retención en marcha;
 - En todos los lugares donde se espera por diseño una interacción [humano]/máquina.

^a Como se analizó anteriormente, los dos trabajadores de mantenimiento de FFG pudieron haber tenido la oportunidad de activar una parada de emergencia y evitar la fuga, pero fue imposible determinar si los dos trabajadores no sabían que el medidor de tipo burbujeo estaba doblado, si tenían suficiente conocimiento y capacitación para entender qué peligro presentaba el medidor doblado, o hasta qué punto los trabajadores estaban conscientes del inminente desbordamiento.

Los dispositivos de parada de emergencia se colocarán de manera que sean directamente accesibles y capaces de ser accionados sin peligro por el operador y otras personas que puedan necesitar accionarlos [25, p. 7].

Esta guía, aunque general, podría haber reducido la gravedad de este incidente si se hubiera implementado en las instalaciones de FFG.

La CSB concluye que si FFG y Messer hubieran instalado botones de parada de emergencia fuera del cuarto frío de la línea 4, como en las entradas del cuarto o en los tanques de almacenamiento a granel, la fuga incontrolada podría haberse detenido de manera más conveniente.

A continuación se muestra un ejemplo de dicha filosofía de diseño en la **Figura 21**:

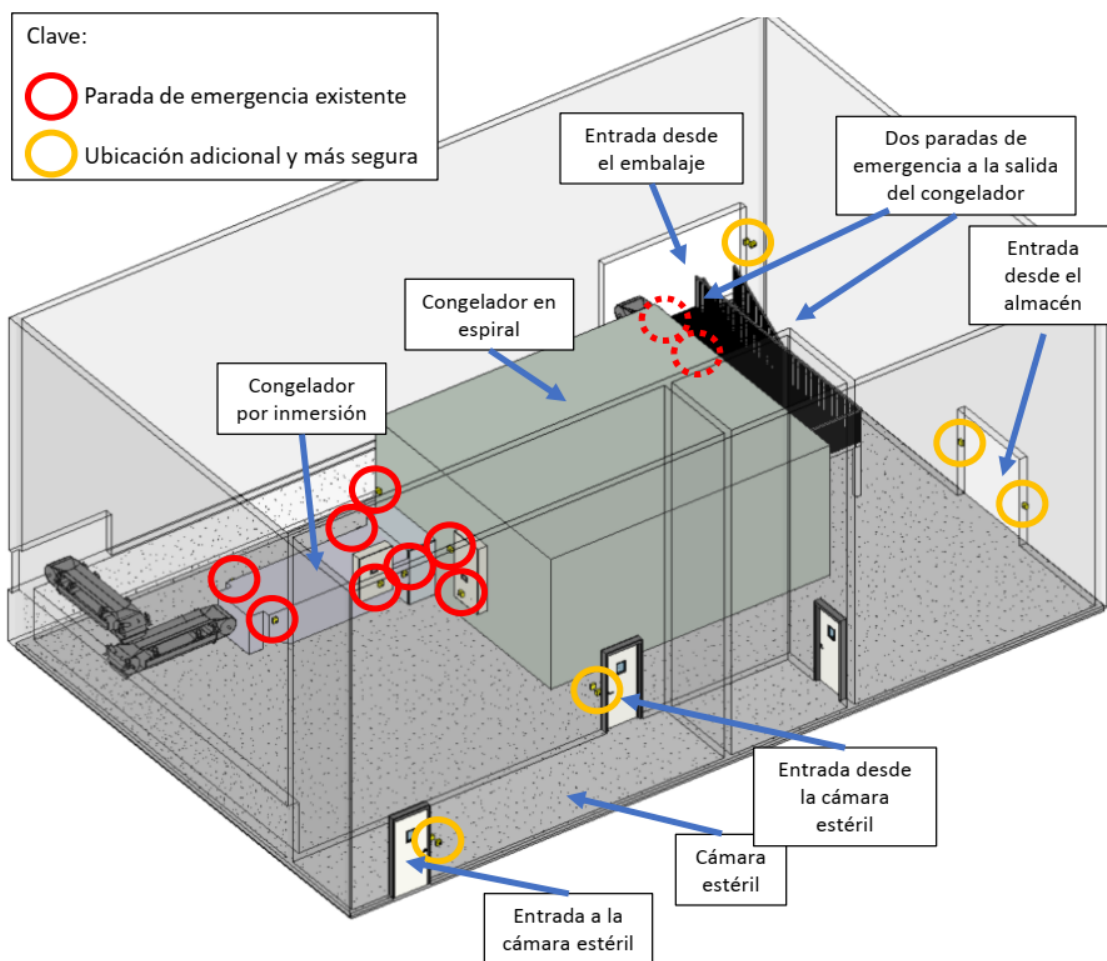


Figura 21. Un ejemplo de posible colocación adicional de paradas de emergencia más seguras. (Crédito: CSB)

P-76 de la CGA

La P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA identifica explícitamente los congeladores de alimentos con nitrógeno líquido como un ejemplo de equipo que puede producir atmósferas con deficiencia de oxígeno [6, p. 5]. La Sección 6 de la norma contiene una guía específica sobre mitigación de riesgos y medidas preventivas para dichos sistemas. La norma establece que las tuberías que transportan gases inertes: “Deben estar provistas de una válvula de aislamiento de fácil acceso fuera del edificio” [6, p. 7]. La norma establece para dichas válvulas que: “Lo ideal sería [...] activarlas de forma remota mediante pulsadores u otros equipos de control de seguridad” [6, p. 7]. Como se analizó anteriormente, se instalaron válvulas de aislamiento de emergencia de activación remota (ROEIV) en las tuberías de suministro de nitrógeno líquido a los congeladores de nitrógeno líquido de la línea 4 de FFG, pero los botones de parada de emergencia para activarlas estaban todos ubicados en las inmediaciones de los congeladores.

Tal como está escrito actualmente, la P-76 de la CGA solo recomienda que los equipos que utilizan gases inertes *deberían* estar equipados con válvulas de aislamiento, y solo recomienda que esas válvulas, *idealmente, deberían* activarse de forma remota. Esta guía es demasiado permisiva. Como lo demuestran este incidente y otros (**Tabla 4**, Sección 4.4.2.1), los agentes asfixiantes criogénicos y los gases inertes pueden producir incidentes con múltiples muertes en caso de pérdida de contención. Además, la norma no contiene una guía sobre la ubicación adecuada de los dispositivos de activación remota (como los botones de parada de emergencia). La CSB recomienda que la CGA actualice la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno*. Como mínimo, la norma actualizada debería:

- a) Exigir que los procesos, equipos y sistemas de tuberías capaces de detectar atmósferas deficientes en oxígeno *estén* equipados con válvulas de aislamiento de emergencia de activación remota (ROEIV).
- b) Incluir una guía sobre la ubicación segura y adecuada de los dispositivos de parada de emergencia. Como mínimo, esta guía debe armonizarse con los requisitos de la norma ISO 13850 *Seguridad de las máquinas – Función de parada de emergencia – Principios para el diseño*. Según sea necesario, aumentar la guía general de la norma ISO 13850 con guía específica para procesos, equipos y tuberías que utilizan los agentes asfixiantes criogénicos y los gases inertes.

En la Sección 4.2.3, la CSB recomendó que la CGA desarrolle un estándar integral de nitrógeno líquido que contenga orientación sobre el uso de sistemas de alarma y monitoreo atmosférico. La CSB también recomienda que esa norma incluya requisitos y orientación sobre la ubicación de dispositivos de apagado de emergencia, como paradas de emergencia.

La norma NFPA 55

La norma NFPA 55 *Código de gases comprimidos y fluidos criogénicos* contiene orientación específica sobre el uso de sistemas de oxígeno a granel, sistemas de hidrógeno licuado a granel, sistemas de dióxido de carbono a granel y sistemas de óxido nitroso líquido,^a pero no para sistemas de nitrógeno líquido. Para sistemas de líquido criogénico distintos de aquellos con guías específicas (los enumerados anteriormente), NFPA 55 requiere que el uso de dichos sistemas cumpla con la P-18 *Estándar para sistemas de gas inerte a granel* de la CGA (Sección 4.2.2.5).^b

Para el uso de todos los fluidos criogénicos, incluido el nitrógeno líquido, la NFPA 55 exige que “se proporcionen válvulas de cierre de emergencia automáticas o manuales accesibles”^c y que dichas válvulas estén ubicadas en el punto de uso, en el tanque o fuente a granel, y en el punto donde la tubería del sistema ingresa al edificio [22, p. 41].^d La norma también exige que: “Las válvulas de cierre de emergencia manuales o el dispositivo que activa una válvula de cierre de emergencia

^a Sección 9; sección 11; sección 13; sección 16 de la NFPA 55. (edición 2020)

^b Sección 8.13.11.1 (edición 2020); sección 8.13.11.2.1 de la NFPA 55 (edición 2020)

^c Sección 8.13.11.2.3.1 de la guía NFPA 55 (edición 2020)

^d Sección 8.13.11.2.3.2 de la guía NFPA 55 (edición 2020)

automática [...] deberán identificarse mediante un letrero”[22, p. 41].^a La frase “dispositivos que activan una válvula de cierre de emergencia automática” se aplica tanto a los pulsadores de emergencia manuales (paradas de emergencia) como a los dispositivos de monitoreo atmosférico interconectados a las ROEIV. Sin embargo, la norma no contiene ninguna orientación sobre la ubicación adecuada de dichos dispositivos. La CSB recomienda a la NFPA actualizar la NFPA 55 *Código de gases comprimidos y fluidos criogénicos* para incluir la guía sobre la ubicación segura y adecuada de válvulas de cierre manual y dispositivos como botones pulsadores de emergencia utilizados para activar válvulas de aislamiento de emergencia de activación remota (ROEIV). Como mínimo, esta guía debe armonizarse con los requisitos de la norma ISO 13850 *Seguridad de las máquinas – Función de parada de emergencia – Principios para el diseño*.

IFC

El IFC exige que: “Se instalen válvulas de cierre en tuberías que contengan fluidos criogénicos cuando sea necesario para limitar el volumen de líquido que se fuga en caso de falla de la tubería o del equipo [21, pp. 55-4]”.^b La norma no especifica si las válvulas de cierre deben accionarse manual o automáticamente y no ofrece orientación sobre la ubicación segura de las válvulas de cierre manuales o los dispositivos utilizados para activar válvulas de cierre de forma remota.

Por lo tanto, la CSB recomienda que la ICC actualice el IFC para incluir la guía sobre la ubicación segura y adecuada de válvulas de cierre manual y dispositivos como botones pulsadores de emergencia utilizados para activar válvulas de aislamiento de emergencia de activación remota (ROEIV). Como mínimo, esta guía debe armonizarse con los requisitos de la norma ISO 13850 *Seguridad de las máquinas – Función de parada de emergencia – Principios para el diseño*.

^a Sección 8.13.11.2.3.1.(A) de la guía NFPA 55 (edición 2020)

^b Sección 5505.1.2.3.2 del IFC

4.4 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD DE PROCESOS

La OSHA y la EPA no definen el nitrógeno líquido como una sustancia química altamente peligrosa o una sustancia extremadamente peligrosa, y por lo tanto, ni la Norma de Gestión de la Seguridad de Procesos (PSM) de la OSHA ni la Regla del Programa de Gestión de Riesgos (RMP) de la EPA^a se aplican a los procesos de nitrógeno líquido, como el proceso de congelación de la línea 4 en FFG [26, 27]. Debido a esto, ninguna regulación exigía que FFG implementara prácticas de gestión de la seguridad de procesos^b para su proceso de congelación de nitrógeno líquido.

Las *Directrices para la seguridad de procesos basada en riesgos* del CCPS presentan un marco ampliamente aceptado para la gestión de la seguridad de procesos que consta de 20 elementos para ayudar a las organizaciones a diseñar e implementar sistemas de gestión de la seguridad de procesos más eficaces [28, p. 2]. El CCPS desarrolló el enfoque de Seguridad de Procesos Basada en Riesgos (RBPS, por sus siglas en inglés) en respuesta al estancamiento y declive de la implementación del sistema de gestión de la seguridad de procesos que percibió dentro de muchas organizaciones [28, p. 1]. El CCPS enumera varias causas posibles del estancamiento del desempeño de la gestión de la seguridad de procesos, que incluyen:

- En los Estados Unidos, la gestión de la seguridad de procesos se ha convertido en sinónimo de la regulación de PSM de la OSHA, lo que significa que las organizaciones pueden no gestionar la seguridad de procesos cuando no lo exige la regulación.
- Dado que las lesiones de los trabajadores son mucho más frecuentes y más fáciles de medir, los recursos de la empresa se centran desproporcionadamente en la *seguridad personal* en lugar de la *seguridad de procesos*.
- La gestión de la seguridad de procesos fue desarrollada por y para las grandes empresas. Las pequeñas empresas pueden creer que no tienen la capacidad para implementar estos sistemas [28, p. 2].

La RBPS fue concebida como un marco que las empresas de cualquier tamaño y perfil de riesgo puedan adaptar a sus operaciones. Independientemente de la aplicabilidad de los requisitos reglamentarios de PSM, RBPS era una directriz aplicable disponible para que FFG estableciera un sistema de gestión de la seguridad de procesos eficaz.

4.4.1 PRÁCTICAS INEFICACES DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD DE PROCESOS DE FFG

FFG no tenía un programa de gestión de la seguridad de procesos establecido para identificar y controlar los peligros del proceso de nitrógeno líquido. Las siguientes secciones presentan elementos clave de gestión de la seguridad de procesos que, si FFG hubiera implementado, podrían haber prevenido el incidente o mitigado su gravedad.^c

4.4.1.1 Cultura de seguridad de procesos y responsabilidad del personal directivo

El elemento de la RBPS sobre *Cultura de seguridad de procesos* analiza cómo la combinación de valores y comportamientos del grupo determina cómo se gestiona la seguridad de procesos [28, p. 40]. “La cultura de seguridad de

^a Además del nitrógeno, en el sitio de FFG había amoníaco anhidro (una sustancia química altamente peligrosa/extremadamente peligrosa) en el momento del incidente. Sin embargo, FFG afirmó que el amoníaco dentro de cada proceso estaba por debajo de la cantidad umbral que le habría requerido cumplir con la norma de PSM y la regla del RMP. Este informe no analiza los procesos de amoníaco anhidro de FFG, excepto señalando que FFG no tenía un sistema de gestión de la seguridad de procesos establecido.

^b Este informe distingue los términos “gestión de la seguridad de procesos” (minúsculas) como las prácticas utilizadas para mejorar la seguridad de procesos y “Gestión de la Seguridad de Procesos (PSM)” para referirse a la norma de PSM de la OSHA.

^c La CSB identificó problemas y oportunidades perdidas con las prácticas de seguridad de FFG relacionadas con muchos de los elementos de gestión de la seguridad de procesos de RBPS. Sin embargo, este informe resaltaré solo aquellos elementos que fueron causales o presentaron una oportunidad para prevenir o mitigar el incidente.

procesos de una organización es un determinante importante de cómo abordará las cuestiones de control de riesgos de procesos, y las fallas del sistema de gestión de la seguridad de procesos a menudo pueden estar relacionadas con deficiencias culturales” [28, p. 41]. El CCPS reconoce que los sistemas, políticas y procedimientos de gestión dependen de las personas para su implementación exitosa [28, p. 42]. En consecuencia, el CCPS proporciona la siguiente guía para garantizar que una organización mantenga una cultura de seguridad de procesos eficaz:

El personal directivo de una organización tiene la responsabilidad principal de identificar la necesidad y fomentar el cambio cultural y de sostener una cultura sólida una vez establecida [28, p. 44].

Existe un apoyo visible, activo y consistente para los programas y objetivos de seguridad de procesos en todos los niveles de gestión dentro de la organización. [...] El concepto de seguridad de procesos como una línea de responsabilidad se transmite a todos los niveles de la organización [28, p. 46].

La organización proporciona una clara delegación y responsabilidad por las responsabilidades relacionadas con la seguridad. En consecuencia, los empleados reciben la autoridad y los recursos necesarios para permitir el éxito en sus funciones asignadas. El personal acepta y cumple con sus responsabilidades individuales de seguridad de procesos, y la administración espera y alienta que todos los miembros de la organización compartan las preocupaciones sobre seguridad de procesos [28, p. 47].

La organización otorga un alto valor a la capacitación y el desarrollo de personas y grupos. [...] La organización mantiene un nivel suficiente de experiencia requerida para operaciones seguras [28, p. 47].

Incluir en la descripción del puesto de cada gerente responsabilidades explícitas que respalden las iniciativas de cultura de seguridad de procesos [...]. Proporcionar responsabilidades para llevar a cabo con éxito estas responsabilidades [28, p. 59].

Después de que Prime-Pak y Victory Processing formaran la empresa conjunta FFG en 2018, se reorganizaron las responsabilidades de seguridad de las dos organizaciones. FFG reasignó al gerente de EHS de Victory Processing y al coordinador de seguridad de Prime-Pak a una nueva estructura dentro del Departamento de Recursos Humanos (HR, por sus siglas en inglés) de FFG. Además, FFG suspendió la práctica del coordinador de seguridad de realizar recorridos de seguridad regulares por el establecimiento. En septiembre de 2019, el coordinador de seguridad había dimitido y el gerente de EHS había sido despedido. Los puestos con responsabilidad de gestión de seguridad estuvieron vacantes durante al menos 15 meses, hasta diciembre de 2020, cuando FFG asignó responsabilidades de gestión de EHS al gerente de aguas residuales de FFG, dentro del Departamento de Mantenimiento, menos de dos meses antes del incidente. La **Figura 22** muestra la estructura organizativa de gestión de seguridad en el momento del incidente.

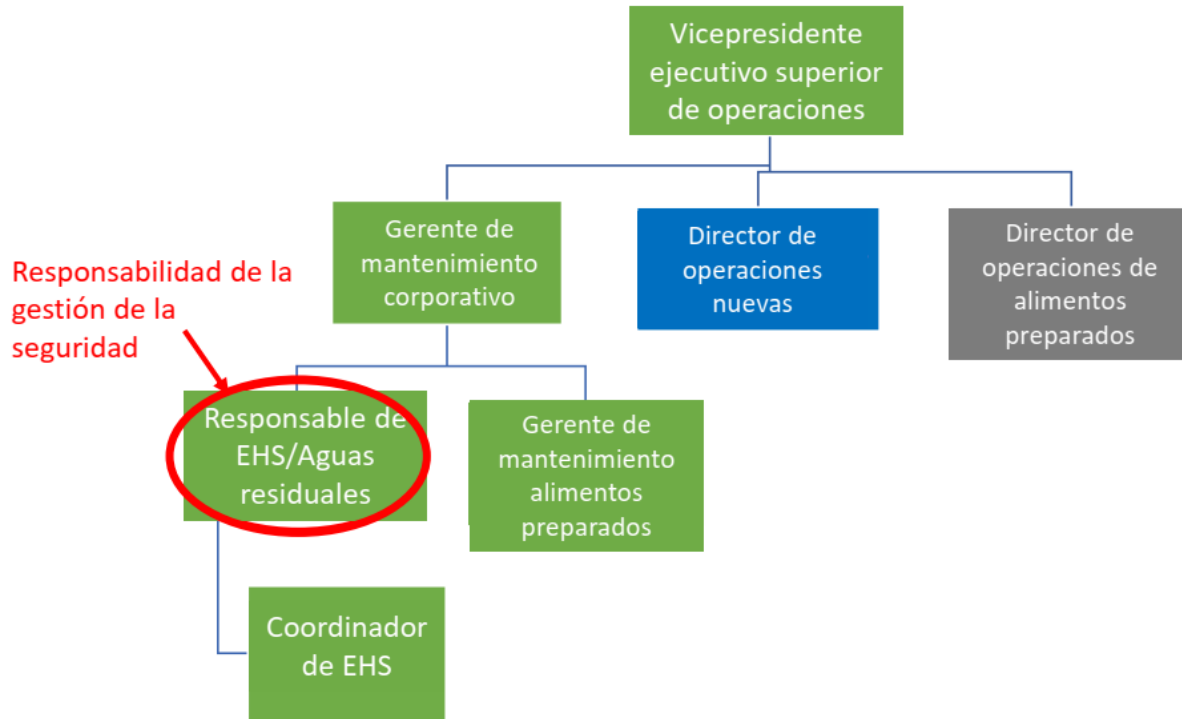


Figura 22. Organigrama de FFG que describe las responsabilidades de gestión de la seguridad en el momento del incidente.^a (Crédito: FFG, anotaciones y redacciones de la CSB)

A pesar de ser la persona responsable designada para la gestión de la seguridad, la responsabilidad principal del gerente de EHS/aguas residuales de FFG era el mantenimiento y operación del sistema de aguas residuales, no la seguridad, con aproximadamente el 10 % o menos de sus horas de trabajo dedicadas a tareas relacionadas con la seguridad. Además, el gerente de EHS/aguas residuales no participó en las actividades de la planta 4, la ubicación del proceso de congelación de nitrógeno líquido, y en su lugar remitió las responsabilidades de la planta 4 al gerente de mantenimiento de alimentos preparados.

La CSB concluye que durante varios meses antes del incidente, la organización de gestión de seguridad de FFG no incluía empleados con responsabilidad directa sobre las prácticas de seguridad. Si FFG hubiera establecido programas y objetivos de seguridad de procesos; hubiera asignado a personal calificado responsabilidades claras sobre la gestión de la seguridad de procesos; hubiera definido, implementado y seguido los objetivos de seguridad de procesos; y se hubiera asegurado de que el personal directivo de la organización demostrara compromiso con los principios de seguridad de procesos, FFG podría haber evitado el incidente.

LECCIÓN CLAVE

El personal directivo en seguridad comienza con la administración. Designar personal competente y con recursos con responsabilidad sobre programas de seguridad específicos es clave para garantizar una seguridad eficaz del proceso. La administración debe tener conocimiento e involucrarse en cada uno de estos programas de seguridad para brindar una supervisión eficaz.

^a El puesto de coordinador de EHS se originó en Victory Processing en 2012 y contó con personal hasta el momento del incidente. Esta función era responsable de la compensación laboral, los informes de accidentes y las investigaciones de lesiones ocupacionales como resbalones, caídas y cortes. Esta función no tenía responsabilidad explícita por la implementación de un programa de seguridad, seguridad de procesos o capacitación en seguridad.

4.4.1.2 Análisis de peligros del proceso

El elemento de la RBPS sobre *Identificación de peligros y análisis de riesgos* abarca todas las actividades involucradas en la identificación de peligros y la evaluación de riesgos en un establecimiento durante todo el ciclo de vida de la instalación, para garantizar que los riesgos para los trabajadores, el público y el medio ambiente se controlen consistentemente. El análisis debe evaluar y preguntar:

- Peligro: ¿Qué puede salir mal?
- Consecuencias: ¿Qué tan malo podría ser?
- Probabilidad: ¿Con qué frecuencia podría suceder [28, p. 210]?

La comprensión del riesgo desarrollada a partir de estos ejercicios ayuda a formar la base para establecer la mayoría de las demás actividades de gestión de seguridad de procesos emprendidas por la instalación [28, p. 211].

En los Estados Unidos, un PHA generalmente se realiza para cumplir con la orientación para la industria para la identificación de peligros y el análisis de riesgos [28, p. 210]. Como se analizó en la Sección 4.1.2, Linde realizó previamente un PHA en la fase de diseño del congelador de inmersión en espiral. El PHA evaluó el diseño y el equipo de congelación en espiral por inmersión, pero no evaluó específicamente los peligros del proceso instalado y operado en las instalaciones de FFG. Messer no actualizó este PHA para incluir escenarios específicos de la instalación antes de suministrar a FFG el sistema de congelación de nitrógeno líquido. Además, FFG no realizó una evaluación de riesgos ni trabajó con Messer para actualizar el PHA sobre el proceso de congelación de nitrógeno líquido para evaluar los peligros específicos asociados con el proceso tal como se instaló y operó en sus instalaciones.^a La CSB concluye que FFG no identificó ni evaluó los peligros específicos de su proceso, como el desbordamiento de nitrógeno líquido y los riesgos de asfixia, y no implementó controles efectivos para mitigar el riesgo.

4.4.1.3 Procedimientos

Los procedimientos operativos del elemento de la RBPS establecen que las organizaciones deben desarrollar “instrucciones escritas que (1) enumeren los pasos para una tarea determinada y (2) describan la forma en que se deben realizar los pasos. Los buenos procedimientos describen el proceso, los peligros, las herramientas, el equipo de protección y los controles con suficiente detalle para que los operadores comprendan los peligros, puedan verificar que los controles estén implementados y puedan confirmar que el proceso responde de la manera esperada” [28, pp. 245-246].

LECCIÓN CLAVE

Un PHA solo puede ser eficaz si es específico del proceso que evalúa. Si no se consideran escenarios específicos de las instalaciones, se pierden oportunidades de identificar, evaluar y controlar los peligros de manera eficaz. Las empresas que instalan equipos en un proceso en sus empresas siempre deben realizar un PHA considerando los peligros introducidos por el proceso, el equipo, la distribución de los instalaciones o cuartos, la ventilación, el área circundante y los factores externos.

^a Si bien la Sección 4.1.2 analiza las deficiencias del diseño del PHA en lo que se refiere a la identificación y gestión de salvaguardas críticas para la seguridad, el propietario/operador del proceso es en última instancia responsable de la ejecución del PHA. A diferencia de la Sección 4.1.2, esta sección destaca la ausencia de ejecución del PHA por parte de FFG para su proceso específico.

FFG no desarrolló procedimientos escritos para la operación o mantenimiento del congelador de nitrógeno líquido. Además, Messer no proporcionó a FFG ningún manual de funcionamiento del equipo de congelación antes del incidente.^a FFG se basó en comunicaciones verbales con Messer para obtener información sobre el funcionamiento del congelador. Como describió el gerente de mantenimiento de la planta 4 de FFG:

El congelador de la línea 4 y el congelador [por inmersión], todavía no teníamos ningún documento ni ningún tipo de libro [...] Por lo general, estoy acostumbrado a que, cada vez que llega una máquina nueva, recibo una caja llena de manuales y todo tipo de cosas. [...] Y, sinceramente, no estaba muy preocupado por el libro en este momento porque tenía [al ingeniero de ventas de Messer] aquí. Él era mi libro...

No hubo pruebas suficientes para determinar cómo se dobló el medidor de tipo burbujeo. Una de las hipótesis que la CSB consideró y probó fue la manipulación humana intencional o no del medidor de tipo burbujeo. Aunque la CSB no pudo determinar si alguien manipuló el medidor, los procedimientos de mantenimiento y la capacitación adecuados podrían haber informado mejor a los empleados sobre los dispositivos críticos para la seguridad, que podrían haber evitado la fuga.

La CSB concluye que FFG no tenía procedimientos escritos para operar o mantener el congelador de nitrógeno líquido y, por lo tanto, los empleados de FFG no recibieron instrucciones y precauciones claras para operar el equipo. Si FFG hubiera desarrollado procedimientos escritos claros, es probable que los trabajadores de FFG hubieran comprendido la función del congelador, la importancia de los componentes críticos y las precauciones adecuadas al operar y solucionar problemas del equipo, lo que podría haber evitado la fuga.

4.4.1.4 Gestión de cambios

El elemento de la RBPS sobre *Gestión de cambios* garantiza que los cambios en un proceso no introduzcan inadvertidamente nuevos peligros ni aumenten el riesgo de peligros existentes [28, p. 424]. Un programa adecuado de gestión de cambios reconocerá situaciones de cambio, evaluará los peligros asociados con el cambio, decidirá si se permite que se realice el cambio y completará las medidas de control de riesgos necesarias [28, p. 423]. Según la CCPS, las organizaciones deben establecer e implementar procedimientos para gestionar los cambios que aborden:

- la base técnica para el cambio propuesto;
- impacto del cambio propuesto en la seguridad y la salud; y
- requisitos de autorización para el cambio propuesto [28, p. 435].

Cambio de congeladores de amoníaco a nitrógeno líquido

Como se analiza en la Sección 1.2, FFG instaló el congelador en espiral por inmersión en nitrógeno líquido en 2020 para ampliar las capacidades y aumentar la eficiencia de la línea de productos de la línea 4. El nuevo sistema de congelación podría utilizarse como alternativa al congelador en espiral de amoníaco utilizado anteriormente en el cuarto contiguo. Para respaldar el flujo de productos, FFG seleccionó la bodega seca inferior, un espacio de almacenamiento empotrado de algunos de los cuartos circundantes y sin ventilación mecánica (que se muestra en la **Figura 23**), para albergar el nuevo equipo de congelación de nitrógeno líquido.

^a En una declaración de demanda civil posterior al incidente, un empleado de Messer declaró que Messer no solo no proporcionó los manuales a FFG, sino que los manuales aún no estaban completamente escritos y aún se estaban actualizando para reflejar las personalizaciones realizadas en los congeladores de la línea 4 de FFG incluso después de que los congeladores habían comenzado a funcionar.

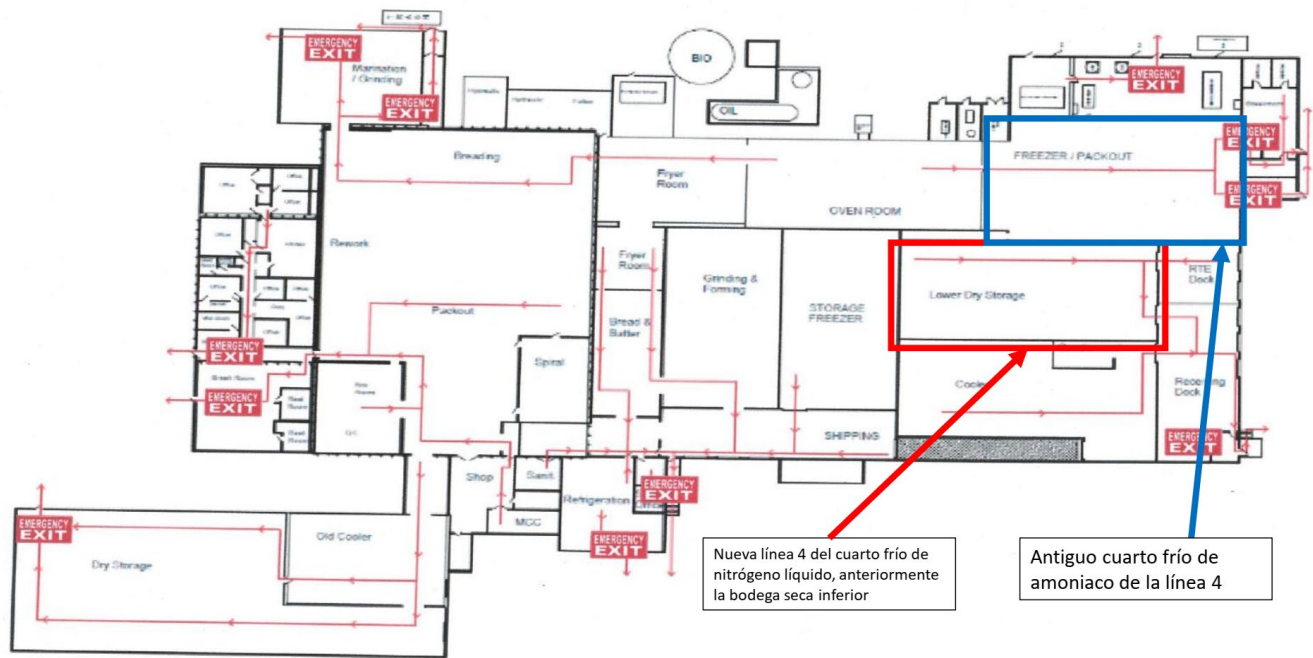


Figura 23. La antigua bodega seca inferior fue seleccionada para albergar el equipo de congelación de nitrógeno líquido de la línea 4. (Crédito: FFG, anotaciones de la CSB)

FFG modificó la bodega seca inferior agregando paredes para separar el congelador en espiral por inmersión de las áreas adyacentes de la planta y construyó una cámara estéril frente al equipo. Aparte de la instalación del equipo de congelación de nitrógeno líquido, FFG no realizó otras modificaciones importantes en el área inferior de almacenamiento seco.

FFG no tenía un proceso de gestión de cambios establecido y no consideró cómo los cambios en el proceso, el edificio y el equipo podrían afectar la seguridad del proceso.

Revisión y aprobación de cambios

FFG completó una solicitud de gastos de capital en 2020 para gestionar y aprobar las modificaciones del edificio necesarias para la transición al congelador de nitrógeno líquido. La solicitud incluía una descripción de las modificaciones necesarias al edificio y al equipo, una justificación del proyecto que consideraba los impactos en la producción y la eficiencia, y aprobaciones por parte del vicepresidente ejecutivo superior de operaciones, el vicepresidente ejecutivo superior de ventas, el director financiero y el director ejecutivo (CEO, por sus siglas en inglés).^a Sin embargo, la solicitud de gastos de capital no fue aprobada por nadie con responsabilidad explícita en materia de seguridad, y el puesto de gerente de seguridad estuvo vacante hasta diciembre de 2020. La solicitud no incluía una base técnica para el cambio y no consideraba la seguridad del proceso.

No considerar los riesgos de ubicación del equipo

La bodega de productos secos, donde finalmente se instaló el congelador de nitrógeno líquido, estaba empotrada aproximadamente a cinco pies del piso de dos de los cuartos circundantes, como se muestra en la **Figura 24** y se analiza en la Sección 1.4.

^a Se utilizó un proceso similar para aprobar las modificaciones de la línea 2. En 2019, FFG completó una solicitud de gastos de capital para instalar un nuevo congelador en espiral de nitrógeno líquido en la línea 2, que incluía las mismas autoridades de revisión y aprobación que la solicitud de la línea 4 de 2020.

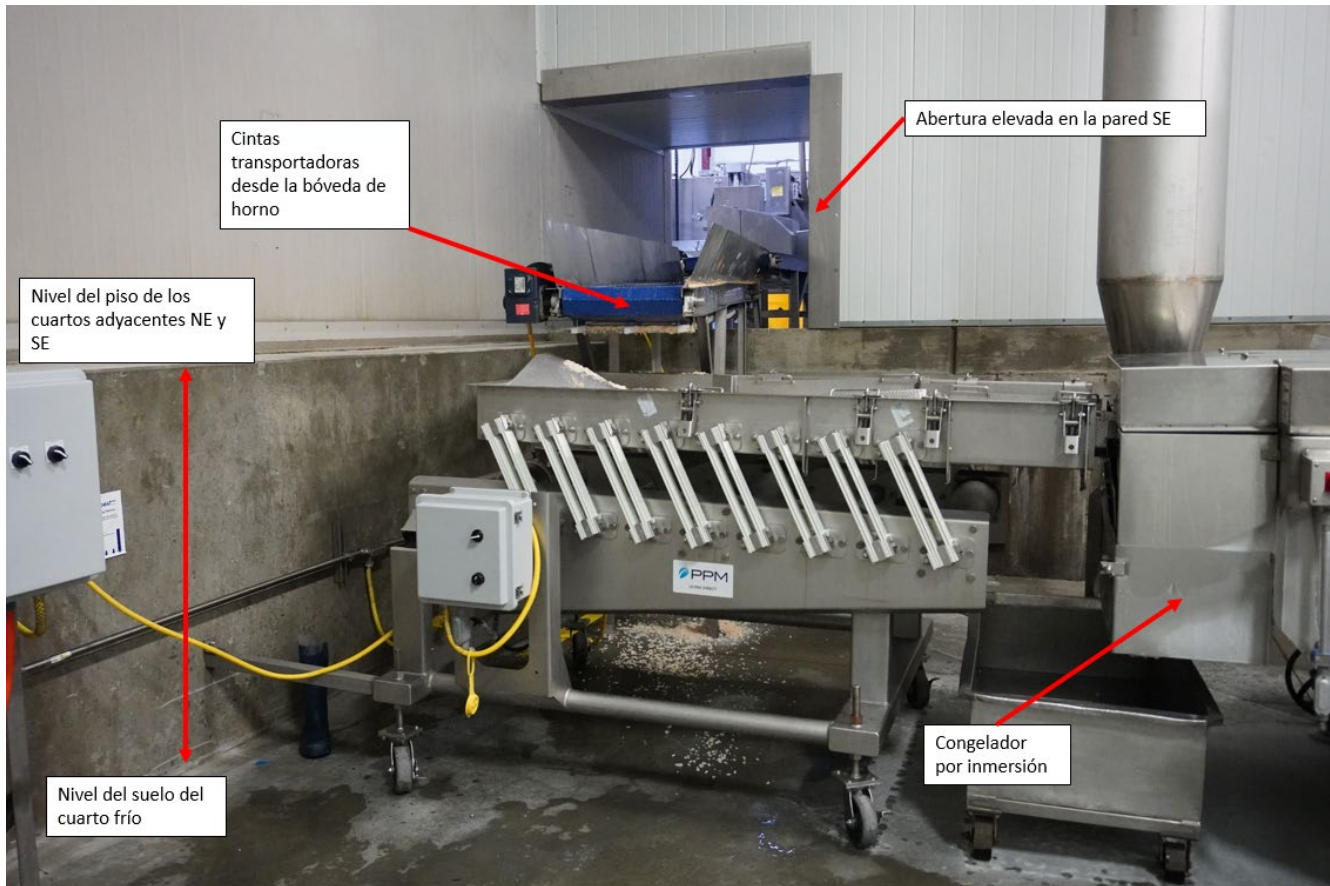


Figura 24. El cuarto del congelador por inmersión estaba empotrado a casi cinco pies de dos cuartos adyacentes. (Crédito: CSB)

Las únicas aberturas en el cuarto frío al mismo nivel que el piso eran la puerta de tamaño estándar que conducía a la cámara estéril y la puerta grande que conducía al almacén y al muelle de carga (que estaba parcialmente cerrada por una pesada cortina de plástico). Las otras dos aberturas del cuarto estaban elevadas aproximadamente a cinco pies del suelo del cuarto.

Al final, entre el piso y aproximadamente cinco pies de elevación, dos de las paredes del cuarto frío estaban completamente cerradas, una estaba casi completamente cerrada (contenía solo una puerta de tamaño estándar para la entrada y salida del personal) y el cuarto tenía una entrada grande que estaba parcialmente cerrada por pesadas cortinas de plástico (que restringían parcialmente el flujo de aire a través de la puerta). Como resultado, la parte del cuarto más susceptible a la deficiencia de oxígeno (las partes inferiores del cuarto, ya que los vapores fríos de nitrógeno son más pesados que el aire) estaba casi completamente cerrada y, por lo tanto, retenían con facilidad un gran volumen de nitrógeno frío vaporizado.

CGA P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* proporciona una guía sobre cómo controlar los riesgos de asfixia al manipular líquidos criogénicos:

Las áreas mal ventiladas, [...] los recintos y las áreas de baja calidad pueden contener atmósferas con deficiencia de oxígeno. [...] Una atmósfera con deficiencia de oxígeno puede provocar la pérdida del conocimiento sin previo aviso. En tan solo una o dos respiraciones, la vida de una persona puede verse amenazada por una baja ingesta de oxígeno [6, p. 4].

En procesos donde se manipulen líquidos criogénicos y se produzca vaporización, se deberá tener cuidado para evitar situaciones en las que el personal quede expuesto a deficiencia de oxígeno. Ejemplos de tales espacios incluyen [...] cuartos donde funcionan los congeladores de alimentos con nitrógeno líquido [...] [6, p. 5].

LaP-76 de la CGA proporciona una guía adicional sobre la ventilación requerida dentro de espacios cerrados:

Ejemplos de recintos incluyen [...] cuartos donde se utiliza o almacena líquido criogénico inerte. El tamaño del edificio/cuarto, la capacidad de ventilación y las presiones del sistema se determinarán para cada caso específico. Se pueden aplicar las siguientes medidas de control al diseño del sistema de ventilación:

- Ventilación continua mientras exista el peligro. Esto se puede lograr entrelazando el sistema de ventilación con la fuente de alimentación del proceso;
- Flujo de aire adecuado alrededor de las áreas normales de operación;
- Capacidad mínima de ventilación de 6 cambios de aire por hora [6, p. 8].

La bodega de productos secos no estaba equipada con HVAC ni ventilación mecánica, y FFG no instaló ventilación después de la instalación del congelador de nitrógeno líquido. Como lo describió el gerente de mantenimiento de la planta 4 de FFG:

No existe un sistema HVAC en ese cuarto. Abrimos la pared del área de nuestra bóveda de horno para permitir que el aire fluya [...] a través de nuestro sistema de aire de compensación.

La CSB concluye que FFG no tenía un proceso de gestión de cambios para identificar, evaluar y gestionar los riesgos introducidos por los cambios de proceso. Durante la introducción del congelador en espiral por inmersión en nitrógeno líquido, FFG no consideró cómo el cambio podría afectar la seguridad del proceso, no incluyó autoridades de aprobación con responsabilidades explícitas en materia de seguridad y no abordó el cumplimiento de la orientación para la industria. Como resultado, FFG no gestionó los riesgos asociados con el uso de un cuarto mayoritariamente cerrado y parcialmente empotrado sin ventilación mecánica e instaló el congelador de nitrógeno líquido en un área particularmente susceptible a una atmósfera con deficiencia de oxígeno.

4.4.1.5 Capacitación, concienciación acerca de los peligros y comunicación

El elemento de la RBPS sobre *Capacitación y garantía de desempeño* describe instrucción práctica en requisitos y métodos laborales para permitir que los trabajadores cumplan con las normas de desempeño y mantengan la competencia [28, p. 396]. Conforme al CCPS:

- Se debe desarrollar un conjunto de materiales para cada necesidad de capacitación [28, p. 397].
- Se debe proporcionar un registro de capacitación para cada trabajador que muestre las necesidades de capacitación de esa persona, las fechas en las que se completó satisfactoriamente la capacitación inicial y cualquier capacitación de actualización, y un cronograma de clases de capacitación futuras [28, p. 397].
- Se debe documentar un enfoque apropiado para verificar el desempeño [28, p. 397].
- Los examinadores deberían contar con los recursos necesarios para realizar pruebas a los trabajadores [28, p. 397].

- Además de la capacitación para tareas específicas, el programa de capacitación debe brindar a los trabajadores una descripción general del proceso y una comprensión de sus peligros [28, p. 402].

Además, el elemento de la RBPS sobre *Participación de la Fuerza Laboral* establece que “los trabajadores, en todos los niveles y en todos los puestos de una organización, deben tener funciones y responsabilidades para mejorar y garantizar la seguridad de las operaciones de la organización” [28, p. 124]. Un sistema eficaz de gestión de la seguridad de procesos “proporciona a los trabajadores la información necesaria para comprender los peligros a los que pueden estar expuestos” [28, p. 126] y “requiere la participación activa de los trabajadores que (1) estén conscientes de los peligros en el lugar de trabajo; (2) comprendan los controles de ingeniería y los sistemas de gestión proporcionados para abordar esos peligros; y (3) acepten y se esfuercen por cumplir sus funciones y responsabilidades en apoyo de proporcionar un entorno de trabajo seguro” [28, p. 128].

Además, la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA establece que las personas que manipulan o utilizan gases inertes deben recibir capacitación e información sobre las medidas de seguridad, los peligros de fuga y el potencial de agotamiento del oxígeno [6, p. 6].

4.4.1.6 Falta de capacitación

Si bien los trabajadores de mantenimiento de FFG recibieron capacitación sobre prácticas laborales generales seguras en el trabajo, como bloqueo y etiquetado, FFG no desarrolló planes de capacitación para brindar a sus trabajadores capacitación específica y documentada sobre la función y operación del sistema de congelación de nitrógeno líquido. Durante el esfuerzo de puesta en marcha del congelador, Messer brindó a tres empleados de FFG instrucción en persona sobre la operación y el mantenimiento del congelador, los peligros potenciales y el manejo seguro del gas. Sin embargo, esta capacitación no fue adoptada por FFG como capacitación formal, no incluía un elemento escrito y no tenía medios para confirmar la competencia de quienes recibían la capacitación.

Aparte de los tres empleados que recibieron la capacitación de Messer (que incluyeron dos técnicos de mantenimiento y el supervisor de empaque de la línea 4, los tres resultaron con lesiones mortales como resultado de este incidente), FFG no capacitó a sus empleados sobre los peligros del nitrógeno líquido, incluido el riesgo de asfixia. Los empleados de todos los niveles de la organización informaron tener conocimiento limitado o nulo sobre los peligros del nitrógeno líquido o de su uso en las instalaciones, como se resume en la **Tabla 3**.

LECCIÓN CLAVE

Es fundamental que los trabajadores reciban capacitación sobre los peligros de los materiales que encuentran. Se puede asumir incorrectamente que los productos químicos no inflamables y no tóxicos, como el nitrógeno, no son peligrosos sin la capacitación y la comunicación de peligros adecuadas. Las empresas que manipulan estos materiales tienen la obligación de formar e informar a sus empleados.

Tabla 3. Selección de respuestas de entrevistas de empleados sobre su conocimiento sobre el nitrógeno líquido en el establecimiento.

Cargo del empleado	Pregunta del entrevistador	Respuesta
Ejecutivo de la empresa ^a	¿Cuánto sabía sobre cómo funciona el equipo o los peligros asociados con [nitrógeno líquido]?	No estaba en mis funciones.
Ejecutivo de la empresa	¿Ha oído hablar de los peligros o riesgos de seguridad de introducir nitrógeno líquido en esta planta [...] por primera vez?	No.
Vicepresidente ejecutivo superior	¿Alguna vez ha hablado de [...] la seguridad del amoníaco o [...] de la seguridad del nitrógeno líquido?	No.
Gerente de mantenimiento corporativo	Durante el curso de estos proyectos [para instalar congeladores de nitrógeno líquido en FFG], ¿recuerda haber realizado algún análisis sobre los peligros del nitrógeno líquido [...]?	No.
Gerente de mantenimiento corporativo	¿Cuál es su conocimiento sobre los peligros del nitrógeno líquido?	Solo sé que se expande cuando se calienta. Eso es prácticamente todo lo que sé.
Gerente de salud y la seguridad ambiental	Antes de este incidente, ¿conocía algún riesgo de seguridad asociado con estos nuevos congeladores de Messer?	Por supuesto que no. No tenía ni idea.
Gerente de logística de la empresa	¿Estaba usted consciente de los [...] peligros que implica el nitrógeno líquido?	Lo único que sabía fue lo que estudié en mis clases de química en la universidad.
Supervisor de la línea 4	Cuando [la empresa] construyó los congeladores de nitrógeno en las Líneas 2 y 4, ¿recuerda alguna capacitación que [la empresa] impartió sobre los peligros del nitrógeno?	No lo recuerdo. [...] Sé que desplaza el aire cuando entra a un cuarto. Pero eso es todo lo que sabía al respecto.
Trabajador A de la línea 4	¿Sabía usted de algún otro químico además del amoníaco?	No, solo nos habían hablado del amoníaco.
Trabajador B de la línea 4	Entonces, cuando [la empresa] instaló los congeladores de nitrógeno para la instalación [...] ¿alguien dijo cuáles [...] serían los peligros potenciales?	No, no lo recuerdo.

^a La responsabilidad del personal directivo en seguridad de procesos significa que los ejecutivos de la empresa tienen la responsabilidad final de garantizar que los riesgos se gestionen adecuadamente. Luego del estallido y la explosión de Macondo, la CSB emitió la *Guía de mejores prácticas para juntas directivas y ejecutivos corporativos en la industria del petróleo y el gas marinos para la prevención de accidentes graves*, que establece: “Cuando una corporación opera en una industria de alto riesgo, [...] sus [...] ejecutivos deben asegurarse de que existan sistemas eficaces de gestión de seguridad para gestionar adecuadamente los riesgos con el objetivo de prevenir accidentes graves y proteger a los trabajadores, el público y el medio ambiente. La implementación de un programa sólido de seguridad de procesos es importante para el éxito general de una empresa” [56]. Dado el potencial de consecuencias catastróficas, estos principios se aplican a los ejecutivos cuyas empresas manejan y procesan agentes asfixiantes criogénicos del mismo modo que se aplican a la industria del petróleo y el gas.

Cargo del empleado	Pregunta del entrevistador	Respuesta
Trabajador C de la línea 4	¿Está usted al tanto de algún producto químico que se esté utilizando en el establecimiento?	Cuando recibieron el nuevo congelador, nadie nos dijo que estaba funcionando con algún químico ni nada parecido. Me acabo de enterar del nitrógeno en las noticias, después del accidente.
Personal de organización externa con presencia diaria en la planta 4 de FFG	Entonces, ¿nunca recibió capacitación sobre los peligros del amoníaco o el nitrógeno líquido?	No. [...] No tenía ni idea de lo peligroso que era el nitrógeno líquido. No sabía nada.

La CSB concluye que FFG no tenía ningún sistema, plan o programa para capacitar y verificar la competencia de sus empleados al operar el congelador de nitrógeno líquido y trabajar con nitrógeno líquido peligroso o cerca de él. Como resultado, los empleados de FFG en todos los niveles de la organización no estaban conscientes de los peligros del nitrógeno líquido y desconocían las precauciones que deberían haberse tomado.

4.4.1.7 Falta de comunicación de peligros

LaP-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA especifica que, junto con un programa de capacitación adecuado mencionado anteriormente, se deben identificar áreas con posibles riesgos de asfixia o tener acceso restringido a ellas. La CGA proporciona un ejemplo de señal de advertencia utilizada para comunicar el riesgo de asfixia (**Figura 25**).



Figura 25. Ejemplo de señal de advertencia de peligro de asfixia [6, p. 7]. (Crédito: CGA)

Ni FFG ni Messer colocaron señales de advertencia sobre el peligro de asfixia en el cuarto frío de la línea 4, como se muestra en la **Figura 26**. Al no restringir la entrada al cuarto frío ni proporcionar señales de advertencia adecuadas, los trabajadores pudieron ingresar al cuarto frío sin darse cuenta de los posibles riesgos de asfixia.



Figura 26. Falta de señales de advertencia de presencia de nitrógeno líquido y peligro de asfixia en el acceso al cuarto frío desde el muelle de carga (izquierda) y cámara estéril (derecha). (Crédito: CSB y Messer)

Además, los equipos congeladores no incluían señalización que advirtiera de los riesgos del nitrógeno líquido. La norma de Comunicación de Riesgos (HazCom) de la OSHA requiere que los empleadores etiqueten los contenedores de productos químicos peligrosos con palabras, imágenes o símbolos para proporcionar información sobre los peligros.^a Como parte de la instalación del equipo, Messer proporcionó etiquetas de advertencia de nitrógeno líquido (con texto en inglés y español) para pegarlas en el equipo de congelación, como se muestra en la **Figura 27**. Sin embargo, estas etiquetas se almacenaron dentro de una carpeta dentro de la HMI del congelador y nunca se pegaron al congelador. Ni FFG ni Messer aplicaron las etiquetas al equipo antes del incidente y, por lo tanto, la información no se transmitió adecuadamente a los trabajadores.

^a Sección 1910.1200(f)(6)(ii) del Título 29 del CFR



Figura 27. Las etiquetas de advertencia de nitrógeno líquido estaban ubicadas dentro de la HMI y no estaban adheridas al equipo. (Crédito: CSB)

La CSB concluye que si el equipo de congelación de nitrógeno líquido y la entrada al cuarto frío de la línea 4 hubieran tenido señales y etiquetas de advertencia adecuadas, los trabajadores podrían haber sido conscientes de los riesgos de asfixia dentro del cuarto.

4.4.1.8 Conclusiones

La CSB concluye que FFG carecía de un sistema eficaz de gestión de la seguridad de procesos para identificar, evaluar y controlar los peligros del proceso de nitrógeno líquido. La falta de supervisión de la seguridad por parte del personal directivo de FFG, la ausencia de un análisis sistemático de los peligros del proceso, la falta de procedimientos escritos, la falta de gestión de prácticas de cambio y la falta de comunicación de los peligros dieron como resultado el manejo absoluto de un agente asfíxiante criogénico por parte de personal no capacitado ni preparado. Este incidente podría haberse evitado si FFG hubiera practicado una gestión sólida de la seguridad de los procesos.

Como se analizó en la Sección 1.1.1, Gold Creek actualmente posee y opera el antiguo establecimiento de FFG. Al momento de la publicación de este informe, actualmente no existen procesos de congelación de nitrógeno líquido en las antiguas instalaciones de la planta 4 de FFG que ahora opera Gold Creek. Por lo tanto, la CSB no emite una recomendación a Gold Creek relacionada con la gestión de la seguridad de los procesos de nitrógeno líquido.

4.4.2 FALTA DE REGULACIÓN PARA LOS AGENTES ASFIXIANTE CRIOGÉNICOS

Como se analizó en la Sección 4.4, el proceso de congelación de nitrógeno líquido de FFG no estaba sujeto a la norma de PSM de la OSHA (o a la norma de RMP de la EPA). Además, no existe ninguna regulación que exija que las organizaciones que manipulan o procesan agentes asfíxiante criogénicos cumplan con los requisitos de la CGA, del CCPS o cualquier directriz del sistema de gestión de seguridad y manipulación segura.

4.4.2.1 Muertes por incidentes de fuga de nitrógeno líquido

Según la definición de la OSHA, una sustancia química altamente peligrosa es “una sustancia que posee propiedades tóxicas, reactivas, inflamables o explosivas” [26].^a Dado que el nitrógeno líquido no es tóxico, reactivo, inflamable ni explosivo, no cumple con la definición de la OSHA de sustancia química altamente peligrosa.^b De todos modos, las emisiones incontroladas de nitrógeno líquido han provocado lesiones graves y muertes en varias industrias. Desde 2008, la CSB tiene conocimiento de al menos siete incidentes relacionados con nitrógeno líquido que han provocado 13 muertes en los Estados Unidos, como se muestra en la **Tabla 4**. Ninguno de estos incidentes estuvo sujeto a una normativa de gestión de la seguridad de procesos para nitrógeno líquido.

LECCIÓN CLAVE

Los fabricantes de alimentos no son inmunes a los peligros químicos y los riesgos de seguridad de los procesos. Siempre que una organización introduce una sustancia química peligrosa en su proceso, debe implementar prácticas sólidas de gestión de la seguridad de procesos para controlar eficazmente los riesgos, independientemente de si alguna regulación exige que la organización lo haga.

^a Sección 1910.119(b) del Título 29 del CFR

^b El nitrógeno líquido cumple con la definición de la CSB de “sustancia extremadamente peligrosa”, que se define en la Sección 1604.2 del Título 40 del CFR como “cualquier sustancia que pueda causar la muerte, lesiones graves o daños sustanciales a la propiedad [...]”.

Tabla 4. Muertes por asfixia con nitrógeno líquido desde 2008

Empresa	Ubicación	Fecha del incidente	Gravedad	Industria
Foundation Food Group	Gainesville, Georgia	28 de enero de 2021	6 muertes	Fabricación de alimentos
California Ranch Food Company	Vernon, California	1 de diciembre de 2020	2 muertes	Fabricación de alimentos
Custom Genetic Solutions, LLC	Mitchell, Dakota del Sur	20 de noviembre de 2019	1 muerte	Genética
XYTEC	Augusta, Georgia	5 de febrero de 2017	1 muerte	Genética
ATI Allvac	Richburg, Carolina del Sur	26 de junio de 2012	1 muerte	Metalurgia
Blowout Tools, Inc.	Fannin, Texas	30 de octubre de 2010	1 muerte	Fabricación de equipos
Blommer Chocolate Company	Chicago, Illinois	8 de junio de 2008	1 muerte	Fabricación de alimentos

Los incidentes de asfixia con nitrógeno líquido que ocurrieron en California Ranch Food Company (California Ranch) y FFG resultaron en conjunto en ocho muertes en menos de dos meses.

4.4.2.2 Regulaciones y directrices existentes

La misión declarada de la OSHA es “garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables para los trabajadores estableciendo y haciendo cumplir normas y proporcionando capacitación, extensión, educación y asistencia” [29]. Dado que las normas de la OSHA cubren a FFG y sus trabajadores, las infracciones citadas por la OSHA en las instalaciones de FFG antes y después del incidente de enero de 2021 brindan información sobre el alcance de las regulaciones existentes aplicables.

Citaciones de la OSHA antes del incidente de FFG

Entre 2016 y 2020, la OSHA inspeccionó las instalaciones de FFG tres veces, como se muestra en la **Tabla 5**. Si bien la OSHA encontró varias infracciones, no documentó ningún hallazgo o inquietud relacionada con el manejo del nitrógeno líquido por parte de FFG durante estas visitas.

Tabla 5. Citas de inspección de la OSHA en FFG entre 2016 y 2020

Fecha de inspección	Cita(s)	Infracción (parafraseada)
10 de diciembre de 2020	Cláusula de obligaciones generales Sección 5(a)(1)	Los trabajadores fueron golpeados por bloques de 40 libras de pollo congelado que viajaban sobre una cinta transportadora.
	Control de energía peligrosa Sección 1910.147 del Título 29 del CFR	FFG no inspeccionó los procedimientos específicos de los equipos ni capacitó a los empleados, exponiendo a los trabajadores a riesgos de amputación.

Fecha de inspección	Cita(s)	Infracción (parafraseada)
	Protección de la maquinaria Sección 1910.212 del Título 29 del CFR	Las máquinas no estaban debidamente protegidas, lo que exponía a los trabajadores a riesgos de laceración y amputación.
5 de junio de 2019	Protección para los ojos y la cara Sección 1910.133 del Título 29 del CFR	Un empleado que manipulaba material corrosivo no llevaba protección para los ojos.
	Camiones industriales con motor Sección 1910.178 del Título 29 del CFR	FFG no certificó a los empleados que operaban montacargas.
11 de julio de 2017 ^a	Protección de la maquinaria Sección 1910.212 del Título 29 del CFR	El empleado sufrió una amputación parcial tras la retirada de una protección de la máquina.

Citas de la OSHA tras el incidente de FFG

Luego de la fuga de nitrógeno líquido y las lesiones fatales en FFG, la OSHA realizó una investigación en las instalaciones de FFG y emitió tres citaciones que documentan 26 infracciones. Como se muestra en la **Figura 28**, los hallazgos de la OSHA incluyeron infracciones relacionadas con superficies para caminar y trabajar, escaleras, rutas de salida, PPE, espacios confinados, control de energía peligrosa, primeros auxilios, HazCom y la cláusula de obligaciones generales. Sin embargo, ninguno estaba relacionado directamente con el manejo de nitrógeno líquido por parte de FFG.

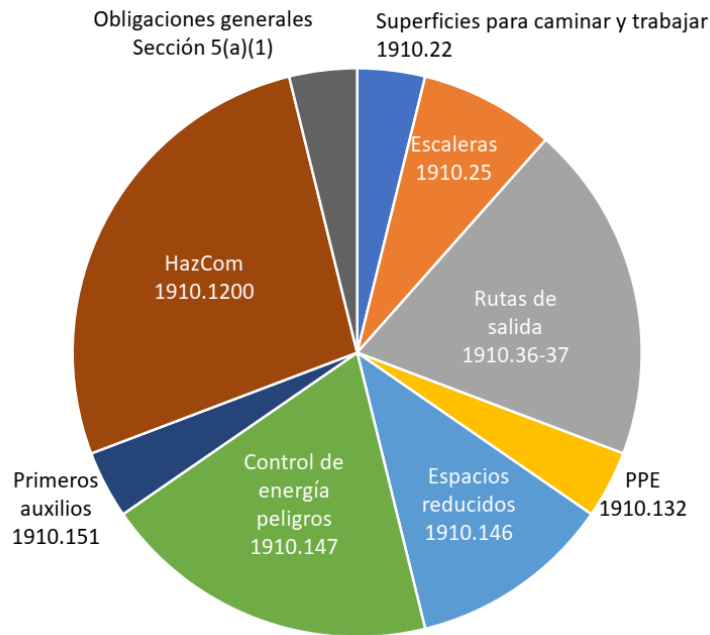


Figura 28. Resumen de infracciones de la OSHA emitido a FFG después del incidente. (Crédito: CSB)^b

^a Durante esta inspección, la planta fue operada por Prime Pak.

^b Todas las referencias son a la Sección 1910 del Título 29 del CFR y están abreviadas en la figura para su presentación.

Dado que no existe una norma específica de la OSHA que regule el uso de nitrógeno líquido, existe una grave laguna en las regulaciones que abordan medidas preventivas y mitigantes para manipular de manera segura el nitrógeno líquido y otros agentes asfixiantes criogénicos. Como se analiza a continuación, existen varias regulaciones que se aplican a FFG y se aplican a otros usuarios de nitrógeno líquido. Sin embargo, ninguna de las regulaciones existentes habría impedido la fuga accidental.

Comunicación de riesgos (Sección 1910.1200 del Título 29 del CFR)

La norma de HazCom de la OSHA que se encuentra en la Sección 1910.1200 del Título 29 del CFR tiene como objetivo “garantizar que los peligros de todos los productos químicos producidos [...] estén clasificados, y que la información relativa a los peligros clasificados se transmita a los empleadores y empleados” [30].^a La norma “requiere que los fabricantes de productos químicos [...] clasifiquen los peligros de los productos químicos que producen [...], y que todos los empleadores proporcionen información a sus empleados sobre los productos químicos peligrosos a los que están expuestos, mediante un programa de comunicación de peligros, etiquetas y otras formas de advertencia, fichas de datos de seguridad e información y capacitación” [30].^b

Como se analizó en la Sección 4.4.1.5, si FFG hubiera informado mejor a su fuerza laboral sobre la presencia y los peligros del nitrógeno líquido, es posible que sus trabajadores no hubieran decidido ingresar al cuarto frío para intentar rescatar a sus compañeros de trabajo. Esto podría haber reducido la gravedad del incidente al evitar algunas o todas las muertes adicionales de cuatro empleados y tres lesiones graves. Una comunicación de peligros más eficaz probablemente no habría evitado la fuga accidental.

Control de energía peligrosa (Sección 1910.147 del Título 29 del CFR)

La norma de Control de energía peligrosa (Bloqueo/Etiquetado) de la OSHA que se encuentra en la Sección 1910.147 del Título 29 del CFR “cubre el servicio y mantenimiento de máquinas y equipos en los cuales la energización o arranque inesperado de las máquinas o equipos, o la liberación de energía almacenada podría causar lesiones a los empleados” [31].^c La norma “requiere que los empleadores establezcan un programa y utilicen procedimientos para colocar dispositivos de bloqueo o etiquetado apropiados en dispositivos de aislamiento de energía y, de otro modo, desactivar máquinas o equipos para evitar la energización, el arranque o la fuga inesperada de energía almacenada con el fin de evitar lesiones a los empleados” [31].^d

Dado que este incidente involucró la falla de un dispositivo de control de nivel crítico para la seguridad durante las actividades activas de resolución de problemas, las actividades adecuadas de aislamiento de energía pueden haber impactado el resultado de este incidente. Como se analizó en la Sección 2.2.1, dos trabajadores de FFG estaban intentando solucionar problemas en el flujo de nitrógeno líquido sin apagar el congelador ni aislar el flujo de nitrógeno líquido cuando comenzó la fuga. Sin embargo, incluso si el flujo de nitrógeno se hubiera aislado durante la resolución del problema, en algún momento los trabajadores probablemente habrían desbloqueado y vuelto a activar el flujo, lo que probablemente habría dado el mismo resultado. Aislar el flujo de nitrógeno probablemente no habría evitado el daño al medidor de tipo burbujeo. Como se identificó en la investigación de la OSHA, FFG no cumplió con muchos de los requisitos de la norma de Control de energía peligrosa.^e Sin embargo, en este incidente en particular, la norma de Control de energía peligrosa no habría evitado la fuga ni las muertes posteriores.

^a Sección 1910.1200(a)(1) del Título 29 del CFR

^b Sección 1910.1200(b)(1) del Título 29 del CFR

^c Sección 1910.147(a)(1)(i) del Título 29 del CFR

^d Sección 1910.147(a)(3)(i) del Título 29 del CFR

^e FFG ha impugnado las infracciones de bloqueo/etiquetado.

Cláusula de obligaciones generales [Sección 5(a)(1)]

La Ley de Seguridad y Salud Ocupacional (OSH, por sus siglas en inglés) de 1970, Sección 5(a)(1), también conocida como Cláusula de obligaciones generales, requiere que los empleadores “proporcionen a cada uno de sus empleados un empleo y un lugar de trabajo que estén libres de riesgos reconocidos que estén causando o puedan causar la muerte o daños físicos graves a sus empleados” [32]. Si bien la Cláusula de obligaciones generales requiere que los empleadores garanticen que el lugar de trabajo esté libre de peligros reconocidos, es una regulación reactiva en la que se basa la OSHA para citar a los empleadores por riesgos que no están cubiertos explícitamente en otras regulaciones. La Cláusula de obligaciones generales no contiene ninguna guía sobre cómo prevenir incidentes.

HAZWOPER (Sección 1910.120 del Título 29 del CFR)

La norma de HAZWOPER de la OSHA que se encuentra en la Sección 1910.120 del Título 29 del CFR se aplica a “operaciones de respuesta a emergencias por emisiones o amenazas sustanciales de emisiones de sustancias peligrosas sin tener en cuenta la ubicación del peligro”, entre otros temas [33].^a La norma requiere que los empleadores desarrollen un ERP que aborde el “reconocimiento y prevención de emergencias” [33].^b La norma regula la respuesta a un incidente que ya ha ocurrido y, en primer lugar, no previene los incidentes. Además, la norma simplemente exige que los empleadores desarrollen un plan que “aborde” la prevención, sin orientación ni requisitos específicos sobre cómo hacerlo.

En general, la norma de HAZWOPER busca evitar que empleados no capacitados respondan a un incidente. La regulación requiere que los empleadores desarrollen un EAP (de conformidad con la Sección 1910.38 del Título 29 del CFR) que requiera y capacite a todos los empleados para evacuar todas las emergencias, o que desarrollen un ERP (de conformidad con la Sección 1910.120 del Título 29 del CFR) que requiere que los empleados designados para actividades de respuesta estén capacitados y equipados adecuadamente para la respuesta. En cualquier caso, los empleados que no estén capacitados para responder no deben hacerlo. En el incidente del FFG, numerosas personas no capacitadas respondieron a la fuga de nitrógeno líquido ingresando al cuarto frío de la línea 4 o a los cuartos adyacentes. Sin embargo, la OSHA no citó a FFG por infringir la norma de HAZWOPER o por infringir los requisitos del EAP de la Sección 1910.38 del Título 29 del CFR. Como se señaló en la Sección 4.3, FFG tenía un EAP supuestamente destinado a cumplir con la Sección 1910.38 del Título 29 del CFR, lo que significa que, a nivel de política, FFG decidió no responder a ninguna emergencia y en su lugar evacuar. Sin embargo, entre las personas que respondieron se encontraban funcionarios administrativos que habrían sido responsables de implementar la política de evacuación afirmada por FFG sin respuesta.

Otras regulaciones citadas por la OSHA

Muchas de las infracciones citadas por la OSHA emitidas en respuesta al incidente de la línea 4 no fueron relevantes para la fuga de nitrógeno líquido, como se analiza a continuación:

- *Espacios reducidos (Sección 1910.146 del Título 29 del CFR)*: el incidente no involucró la entrada a un espacio reducido.
- *Rutas de salida (Sección 1910.36-37 del Título 29 del CFR)*: dada la naturaleza de la fuga, la ruta de salida disponible para los trabajadores probablemente no contribuyó a este incidente.
- *Primeros auxilios (Sección 1910.151 del Título 29 del CFR)*^c: la disponibilidad de una estación de lavado de ojos o una ducha de seguridad es irrelevante para este incidente.

^a Sección 1910.120(a)(1)(v) del Título 29 del CFR

^b Sección 1910.120(q)(2)(iii) del Título 29 del CFR

^c Esta infracción citada por la OSHA se refería a la disponibilidad de un lavavojos y una ducha de seguridad en las proximidades de materiales corrosivos.

- *PPE (Sección 1910.132 del Título 29 del CFR)*: la disponibilidad de diferentes PPE para los trabajadores no habría prevenido la fuga accidental, aunque podría haber disminuido la gravedad del incidente si los trabajadores que respondieron hubieran estado equipados con monitores personales de oxígeno o equipos adecuados para entrar en una atmósfera con deficiencia de oxígeno.
- *Escaleras (Sección 1910.25 del Título 29 del CFR)*: la condición de las escaleras es irrelevante para este incidente.
- *Superficies para caminar y trabajar (Sección 1910.22 del Título 29 del CFR)*: la condición de las superficies para caminar es irrelevante para este incidente.

Prácticas recomendadas por la OSHA para programas de seguridad y salud

En respuesta a otros incidentes similares de asfixia con nitrógeno líquido,^a la OSHA ha instado a los empleadores a seguir las prácticas recomendadas para programas de seguridad y salud de la OSHA, un recurso voluntario que incluye al personal directivo administrativo, identificación y evaluación de peligros, prevención y control de peligros, y educación y capacitación [34, 35]. Sin embargo, las prácticas recomendadas de la OSHA para programas de seguridad y salud no son exigibles.

4.4.2.3 Programas de énfasis

Según la OSHA,

Los Programas de Énfasis Local (LEP, por sus siglas en inglés) son estrategias de cumplimiento diseñadas e implementadas a nivel de oficina regional u oficina de área. Estos programas están destinados a abordar peligros o industrias que representan un riesgo particular para los trabajadores en la jurisdicción de la oficina. Los programas de énfasis pueden ser implementados por una sola oficina de área, o a nivel regional [Programas de Énfasis Regionales (REP)], y aplicarse a todas las oficinas de área dentro de la región. Estos LEP estarán acompañados de actividades de divulgación destinadas a concienciar a los empleadores del área sobre el programa, así como sobre los peligros que los programas están diseñados para reducir o eliminar [36].

Actualmente, existen tres REP que cubren la industria procesadora de carnes y aves: la Región 4 [37] (que cubre Alabama, Florida, Georgia, Kentucky, Mississippi, Carolina del Norte, Carolina del Sur y Tennessee), la Región 5 [38] (que cubre Illinois, Indiana, Michigan, Minnesota, Ohio y Wisconsin) y la Región 6 [39] (que cubre Arkansas, Luisiana, Nuevo México, Oklahoma y Texas). El REP de la Región 4 entró en vigor el 1 de abril de 2022 (después del incidente en FFG), y los REP de las Regiones 5 y 6 entraron en vigor el 1 de octubre de 2023. Los REP cubren los elementos que se muestran en la **Tabla 6** a continuación.

^a En respuesta a la muerte por asfixia de noviembre de 2019 causada por una fuga de nitrógeno líquido en Custom Genetic Solutions LLC en Mitchell, Dakota del Sur, la OSHA emitió un comunicado de prensa que dice: “Las prácticas recomendadas por la OSHA para los programas de seguridad y salud brindan a los empleadores un plan para gestionar la seguridad y la salud en sus lugares de trabajo, incluida la identificación y evaluación de peligros, la prevención y el control de peligros, y la educación y capacitación”. [34]

Tabla 6. Elementos de los REP de la industria cárnica y avícola de las Regiones 4, 5 y 6.

Región 4 (AL, FL, GA, KY, MS, NC, SC, TN)	Región 5 (IL, IN, MI, MN, OH, WI)
Mantenimiento de registros de la OSHA	Protección de la maquinawria
Expedientes médicos	Control de Energía Peligrosa
Ergonomía	Comunicación de riesgos
Gestión de la Seguridad de Procesos	Otros riesgos
Espacios reducidos	Región 6 (AR, LA, NM, OK, TX)
Riesgos eléctricos	Mantenimiento de registros de la OSHA
Comunicación de riesgos	Expedientes médicos
Cromo hexavalente	Ergonomía
Protección/bloqueo-etiquetado de máquinas	Gestión de la Seguridad de Procesos
Riesgos biológicos	Comunicación de riesgos
Otros riesgos	Protección/bloqueo-etiquetado de máquinas
	Riesgos biológicos
	Riesgos de ruido ocupacional

Entre los “otros peligros” incluidos en el REP de la Región 4, los inspectores de la OSHA deben “identificar y evaluar posibles peligros químicos o físicos, incluido el dióxido de carbono [y]... productos químicos refrigerantes que no sean PSM [37, p. 15]”. Asimismo, el REP de la Región 5 incluye “productos químicos de refrigeración (por ejemplo, dióxido de carbono, amoníaco) [38, p. 27]”. El nitrógeno líquido no se menciona específicamente en ninguno de los REP.

Aplicabilidad del nitrógeno líquido en los REP actuales

Los programas de énfasis son una herramienta importante para que la OSHA inspeccione proactivamente las instalaciones en busca de peligros comunes antes de que ocurra un incidente. También generan datos para posibles acciones normativas futuras. La OSHA actualmente tiene tres REP activos que cubren las industrias procesadoras de carne y aves. Ninguno de los REP existentes menciona específicamente el nitrógeno líquido, aunque los REP de las Regiones 4 y 5 cubren productos químicos “refrigerantes no PSM” y “productos químicos de refrigeración”, respectivamente.

No está claro si el REP de la Región 4 (que cubre el estado de Georgia, donde ocurrió el incidente de FFG) se habría aplicado a los procesos de nitrógeno líquido de FFG si hubiera estado en vigor antes del incidente. Su aplicación depende de la interpretación que la OSHA haga de la palabra “refrigerante”. El REP de la Región 6 cubre sustancias químicas reguladas por PSM, como los procesos de congelación y refrigeración de amoníaco o el cloro utilizado para procesos de tratamiento de agua, pero carece de la misma disposición para sustancias no PSM que contiene el REP de la Región 4. Por lo tanto, la CSB recomienda a la OSHA:

- Actualizar el Programa de Énfasis Regional de instalaciones de procesamiento de aves de la Región 4 para cubrir explícitamente los procesos de congelación con nitrógeno líquido. Como mínimo, la actualización debe fomentar

prácticas aplicables a la gestión de los peligros del uso de nitrógeno líquido y otros agentes asfixiantes criogénicos, incluidas prácticas de gestión de la seguridad de procesos, monitoreo atmosférico, capacitación de empleados y concienciación acerca de los peligros, y preparación y respuesta ante emergencias;

- Actualizar el Programa de Énfasis Regional de la Región 5 para la Industria de Fabricación de Alimentos para cubrir explícitamente los procesos de congelación con nitrógeno líquido. Como mínimo, la actualización debe fomentar prácticas aplicables a la gestión de los peligros del uso de nitrógeno líquido y otros agentes asfixiantes criogénicos, incluidas prácticas de gestión de la seguridad de procesos, monitoreo atmosférico, capacitación de empleados y concienciación acerca de los peligros, y preparación y respuesta ante emergencias; y
- Actualizar el Programa de Énfasis Regional de instalaciones de procesamiento de aves de la Región 6 para cubrir explícitamente los procesos de congelación con nitrógeno líquido. Como mínimo, la actualización debe fomentar prácticas aplicables a la gestión de los peligros del uso de nitrógeno líquido y otros agentes asfixiantes criogénicos, incluidas prácticas de gestión de la seguridad de procesos, monitoreo atmosférico, capacitación de empleados y concienciación acerca de los peligros, y preparación y respuesta ante emergencias.

4.4.2.4 Conclusiones

Como se analiza a lo largo de este informe, existe abundante orientación para la industria sobre el manejo adecuado y la gestión de seguridad de los agentes asfixiantes criogénicos y los sistemas criogénicos. El CCPS proporciona orientación sobre el diseño de sistemas instrumentados (Sección 4.1), la ejecución del PHA (Sección 4.1), el uso de monitoreo atmosférico (Sección 4.2.2.2) y la implementación de un sistema de gestión de la seguridad de procesos (Sección 4.4). La CGA requiere el uso de monitoreo atmosférico (Sección 4.2.2.3), brinda orientación sobre la ubicación y el diseño de la válvula de aislamiento (Sección 4.3.5), presenta consideraciones de diseño del establecimiento (4.4.1.4), requiere comunicación y capacitación adecuadas sobre peligros (Sección 4.4.1.5) y proporciona una guía para la gestión de la seguridad de procesos (Sección 4.5.2). La NFPA requiere el uso de monitoreo atmosférico (Sección 4.2.2.5) y la instalación de válvulas de aislamiento de emergencia (Sección 4.3.5).

A pesar de la gran cantidad de orientaciones para la industria, no se puede exigir el cumplimiento de ninguno de estos requisitos y directrices mediante regulación.

La CSB concluye que no existe ninguna regulación que exija a los empleadores que manipulan o procesan agentes asfixiantes líquidos criogénicos, como el nitrógeno líquido, que se adhieran a la orientación para la industria sobre el diseño adecuado y la manipulación segura, ni que implementen un enfoque sólido y sistemático para la seguridad del proceso. Como no era obligatorio, FFG no implementó prácticas importantes de seguridad de procesos que podrían haber evitado la fuga accidental o reducido su gravedad. Además, no existe una guía específica de la OSHA sobre las prácticas de seguridad de procesos necesarias para el uso seguro de agentes asfixiantes criogénicos.

La CSB recomienda que la OSHA promulgue una norma específica para agentes asfixiantes criogénicos. El propósito de esta norma será la prevención o mitigación de los peligros que surgen del almacenamiento, uso o manipulación de estas sustancias. La nueva norma hará referencia a las normas de consenso nacional aplicables, como las publicadas por la Asociación de Gas Comprimido (Compressed Gas Association) y otras, según corresponda. Como mínimo, la nueva norma deberá:

- a) Abordar los requisitos para el diseño, construcción e instalación de equipos de proceso que almacenen o utilicen agentes asfixiantes criogénicos;
- b) Requerir monitoreo atmosférico donde el equipo que almacena o usa agentes asfixiantes criogénicos está ubicado en interiores;
- c) Exigir sistemas de apagado de emergencia tales que los equipos que almacenen o utilicen agentes asfixiantes criogénicos puedan aislarse sin peligro durante una fuga;
- d) Abordar los requisitos para la capacitación de los empleados y la concienciación acerca de los peligros específicos de los agentes asfixiantes criogénicos;
- e) Requerir un plan de acción de emergencia de acuerdo con la sección 1910.38 del Título 29 del Código de Regulaciones Federales (CFR); y
- f) Abordar los requisitos para el uso de elementos de gestión de la seguridad de procesos, como análisis de peligros del proceso, gestión de cambios, procedimientos y otros que se consideren necesarios a través del proceso de elaboración de normas para prevenir o mitigar estos peligros.

Además, la CSB recomienda a la OSHA desarrollar y publicar un Documento guía (similar a 3912-03 Gestión de la seguridad de procesos para la fabricación de explosivos y pirotecnia de la OSHA) para las prácticas de gestión de la seguridad de procesos aplicables a procesos que manejan gases comprimidos y agentes asfixiantes criogénicos, incluidas (como mínimo) las prácticas destacadas en este informe.

LECCIÓN CLAVE

Las regulaciones son requisitos mínimos. La necesidad de prácticas sólidas de gestión de la seguridad de procesos existe dondequiera que se fabriquen, procesen, almacenen y utilicen productos químicos peligrosos, independientemente de su cobertura regulatoria. Las empresas deben ser conscientes de los peligros que plantean los productos químicos que manipulan y deben implementar sistemas eficaces de gestión de la seguridad de los procesos para controlar los riesgos de seguridad de los procesos.

4.5 ADMINISTRACIÓN DE PRODUCTOS

El propietario/operador de un proceso peligroso tiene la responsabilidad final de la seguridad de sus procesos, instalaciones y personas que trabajan en sus instalaciones. En situaciones como la de FFG, donde el propietario y el operador de un proceso son dos empresas diferentes (FFG operaba el equipo, pero Messer era propietario), la responsabilidad de la seguridad debe ser compartida. A pesar de las malas prácticas de seguridad de FFG, Messer tenía la experiencia, la capacidad y la oportunidad de tomar medidas efectivas para prevenir este incidente o reducir su probabilidad o gravedad.

La administración de productos se refiere a la práctica de gestión que respalda una filosofía de servicio a los clientes y minimiza los efectos sobre la salud y el medio ambiente durante todo el ciclo de vida de un producto [40].

El Consejo Estadounidense de Química (ACC, por sus siglas en inglés), una organización comercial que representa a las empresas químicas en los Estados Unidos, proporciona pautas de administración de productos a través de su programa Responsible Care® [41, 42]. Según el ACC, las empresas de Responsible Care® están comprometidas con una cultura de mejora continua en la seguridad y administración de productos para cada etapa del ciclo de vida de un producto. Como parte de esto, el ACC desarrolló el Código de seguridad de productos, que proporciona un conjunto de prácticas para gestionar la seguridad de los productos químicos y mejorarla como parte del sistema de gestión de salud, seguridad y medio ambiente de su industria. El Código de seguridad de productos exige que las empresas incluyan la seguridad y la administración de productos como parte de sus sistemas de gestión. Según el ACC, la seguridad del producto incluye el intercambio de información sobre los peligros del producto, los usos previstos, las prácticas de manipulación, las exposiciones y los riesgos. El ACC describe la administración de productos como la responsabilidad de comprender, gestionar y comunicar los impactos sobre la salud y el medio ambiente durante todo el ciclo de vida de los productos químicos. Los clientes de las empresas miembro y los usuarios de los productos de los miembros son un foco importante de la administración de productos [43, 44].

4.5.1 PRÁCTICAS DE ADMINISTRACIÓN DE PRODUCTOS DE MESSER

Messer es miembro del programa Responsible Care® del ACC y ha manifestado su compromiso con los principios rectores de Responsible Care® “para trabajar con clientes, transportistas, proveedores, distribuidores y contratistas para fomentar el uso, transporte y eliminación seguros de productos químicos y proporcionar información sobre peligros y riesgos a la que se pueda acceder y aplicar en sus operaciones y productos” [45]. Sin embargo, en una declaración a la CSB, Messer aclaró que su negocio de congeladores de alimentos no había sido auditado ni certificado bajo su programa Responsible Care®, afirmando:

Actualmente, el negocio Food Freezer Market no forma parte del Programa de Certificación Responsible Care. Está previsto que el negocio Food Freezer Markets se incluya en el programa de certificación a partir del año 2024 [...]. En lo que respecta a los equipos instalados por Messer en FFG, solo los tanques de almacenamiento de nitrógeno líquido a granel se desarrollaron utilizando las Directrices del sistema de gestión de cuidado responsable.

Independientemente, como parte del esfuerzo de puesta en marcha del congelador de nitrógeno líquido línea 4, Messer completó una lista de verificación de administración de productos con los empleados de FFG, con el propósito declarado de “documentar la capacitación y las presentaciones sugeridas sobre la interfaz del cliente para [a]segurar que Messer esté brindando una buena administración segura al cliente de nuestros productos y servicios”. Sin embargo, si bien elementos específicos de la lista de verificación se marcaron como completos, FFG nunca firmó la lista de verificación reconociendo que los elementos estaban completos. Además, la CSB encontró inconsistencias entre los elementos marcados como completos por Messer y la implementación real, como se muestra en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Elementos de la lista de verificación de cuidado responsable de Messer.

Acción	¿Verificado? (Según lo marcado por Messer)	Observaciones de la CSB
“Discutir los resultados de la evaluación de riesgos, las posibles exposiciones y la mitigación con el cliente”.	Sí	Aunque el elemento de la lista de verificación indicaba solo “discutir” los resultados de una evaluación de riesgos, FFG nunca realizó una evaluación de riesgos y Messer no proporcionó el PHA realizado previamente a FFG antes de la puesta en marcha. (Sección 4.4.1.2)
“Se entregaron todos los manuales necesarios”.	Todavía no	Como indicaba la lista de verificación, Messer no proporcionó a FFG manuales de equipo, operación o mantenimiento antes del incidente. (Sección 4.4.1.3)
“Capacitación completada: seguridad y peligros potenciales, manejo seguro de gas, operación y mantenimiento de equipos, [y] proceso. Lista de asistencia documentada para Messer y el cliente”.	Sí	Messer brindó capacitación operativa práctica y una descripción general verbal del equipo a tres empleados de mantenimiento de FFG (dos técnicos de mantenimiento y el supervisor de empaque de la línea 4, los tres resultaron con lesiones mortales), pero el contenido de la capacitación no fue documentado. (Sección 4.4.1.5)
“Todas las calcomanías y señales de advertencia en su lugar: equipos de Messer, tuberías..., entradas a los cuartos...”	Sí	Nunca se colocaron calcomanías ni señales de advertencia en los equipos ni en las entradas de los cuartos. (Sección 4.4.1.5)
“Se discute el uso de monitoreo de la atmósfera”.	Sí	Aunque el elemento de la lista de verificación solo decía “discutir” el uso del monitoreo, no se instalaron monitores atmosféricos en el cuarto frío de acuerdo con la recomendación de Messer, y los trabajadores no recibieron detectores personales. (Sección 4.2.1)

Prácticas anteriores

Antes de la adquisición por parte de Messer del negocio de congeladores de nitrógeno líquido de Linde (ver Sección 1.1.2), Linde brindó a sus clientes una presentación detallada de capacitación sobre los peligros de la deficiencia de oxígeno y la asfixia al manipular nitrógeno. Esta capacitación incluyó una lista de varios requisitos mínimos y recomendaciones clave para los clientes, incluida la garantía de que:

- el cliente conserva las hojas de información de seguridad como registro;
- el cliente conoce la documentación de seguridad de las asociaciones de la industria del gas, como la CGA;
- la información sobre los servicios de seguridad pertinentes está disponible localmente para proteger contra la asfixia;
- los analizadores de gases están en la ubicación correcta, están calibrados y funcionan;

- los sistemas de ventilación son operativos y eficaces; y
- existen señales de advertencia adecuadas.

Linde declaró que su “deber de diligencia” hacia los clientes era:

...proporcionar un buen diseño e instalación del equipo [y] tomar las medidas adecuadas si se hace evidente el uso inseguro de los productos Linde (es decir, ser un proveedor responsable). [...] En situaciones de alto riesgo, Linde **tendrá que considerar la posibilidad de interrumpir el suministro.** (énfasis añadido)

Después de la adquisición por parte de Messer del negocio de congeladores de nitrógeno líquido de Linde, Messer no continuó con las prácticas de “Deber de diligencia” de Linde.

4.5.2 ADMINISTRACIÓN INEFICAZ DE PRODUCTOS

Antes y después de la puesta en marcha del sistema de congelación de nitrógeno líquido, Messer estaba al tanto de las malas prácticas de seguridad de FFG. Sin embargo, Messer continuó suministrando nitrógeno líquido a FFG a pesar de que FFG no pudo corregir los problemas. A continuación se presentan ejemplos de la administración inadecuada de productos por parte de Messer.

Compromiso con la seguridad de los procesos

La CGA es una asociación comercial que desarrolla normas de seguridad y directrices de prácticas seguras para las industrias industrial, médica, alimentaria y de gases comprimidos y licuados especiales [46]. Las normas y directrices de la CGA son aplicables a los congeladores de nitrógeno líquido, como el que Messer alquiló a FFG. Messer es una empresa miembro de la CGA y, por lo tanto, conoce las normas de la CGA y su aplicabilidad.

La P-86 de la CGA, Guía para la gestión de la seguridad de procesos, presenta 21 elementos de gestión de la seguridad de procesos en su marco de seguridad de procesos, como se muestra en la **Tabla 8** [47, pp. 3-4].

Tabla 8. P-86 Elementos de gestión de la seguridad de procesos de la CGA.

Número de elemento de la CGA	Elemento de gestión de la seguridad de procesos de la CGA	Número de elemento de la CGA	Elemento de gestión de la seguridad de procesos de la CGA
Personal directivo en seguridad de procesos		Gestión de riesgos	
1	Compromiso y responsabilidad del personal directivo	8	Monitoreo y traspaso del estado operativo y del proceso
2	Cumplimiento de la legislación y las normas de la industria	9	Procedimientos de operación
3	Selección, capacitación y competencia de los empleados	10	Gestión de interfaces operativas
4	Participación de la fuerza laboral	11	Normas y prácticas
5	Comunicación y partes interesadas	12	Gestión de cambios
Identificación y evaluación de riesgos		13	Preparación operativa y puesta en marcha del proceso
6	Identificación de peligros y evaluación de riesgos	14	Gestión de emergencias
7	Gestión de documentación, registros y conocimiento	15	Inspección y mantenimiento
Revisión y mejora		16	Gestión de dispositivos críticos para la seguridad

Número de elemento de la CGA	Elemento de gestión de la seguridad de procesos de la CGA	Número de elemento de la CGA	Elemento de gestión de la seguridad de procesos de la CGA
19	Investigación del incidente	17	Control de trabajo, permisos de trabajo y gestión de riesgos de tareas
20	Auditoría, revisión de la gestión e intervención	18	Contratistas y proveedores
21	Medidas y Métricas		

Según la CGA, “El marco de gestión de la seguridad de los procesos puede aplicarse a todos los procesos dentro de la industria de los gases industriales. Está diseñado para abordar los riesgos de seguridad de los procesos y ser igualmente adecuado para los procesos que se encuentran en la industria, incluidas [...] **las instalaciones de los clientes**”. (énfasis añadido) [47, p. 1].

El Elemento 5, *Comunicación con las partes interesadas*, de la P-86 de la CGA establece:

En relación con los peligros importantes, la dirección deberá identificar los grupos de partes interesadas clave y desarrollar y mantener una buena relación de trabajo [...], comprendiendo y abordando sus problemas e inquietudes. [...] Las partes interesadas externas pueden incluir [...] clientes. (énfasis añadido) [47, p. 7].

Se comparte información de seguridad adecuada con las partes interesadas para demostrar el compromiso de la **organización con la seguridad de procesos**. (énfasis añadido) [47, p. 7].

El Elemento 6, *Identificación de peligros y evaluación de riesgos*, de la P-86 de la CGA establece:

[Las organizaciones] deben garantizar que un proceso integral de evaluación de riesgos identifique, evalúe y proporcione mitigaciones sistemáticamente para los riesgos que surgen de [...] operaciones [47, p. 7].

Las evaluaciones de riesgos consideran el **riesgo de seguridad del proceso**, así como el riesgo para [...] la integridad de los activos, [...] y **los clientes**. (énfasis añadido) [47, p. 8].

Las partes interesadas identificadas se mantienen informadas sobre el proceso y los resultados de la evaluación de riesgos [47, p. 8].

Como se analizó en la Sección 4.4.1, FFG no tenía un sistema de gestión de la seguridad de procesos establecido y carecía de muchas prácticas importantes de gestión de la seguridad de procesos. Además, FFG carecía del conocimiento institucional y la experiencia necesarios para implementar tales prácticas. Por el contrario, los proveedores de gas industrial como Messer tienen una amplia experiencia y conocimiento de los riesgos de seguridad de los procesos que plantean los materiales y equipos que proporcionan a sus clientes.

Si bien el propietario u operador de un establecimiento tiene la responsabilidad final de implementar prácticas y salvaguardias eficaces para gestionar los riesgos de seguridad de los procesos y proteger a sus trabajadores, los proveedores de gas industrial suelen tener más conocimiento de los peligros de sus productos y equipos que sus clientes, como fue el caso de Messer y FFG. Por lo tanto, empresas como Messer deben trabajar con sus clientes para garantizar que se utilicen prácticas eficaces de gestión de la seguridad de procesos, especialmente cuando la base de conocimientos y la experiencia necesarias para hacerlo pueden no estar presentes a nivel del cliente.

Conocimiento de la ausencia de monitoreo atmosférico

Durante una visita a una línea de producción separada de la planta 4^a en agosto de 2020, Messer reconoció que FFG no contaba con un monitoreo atmosférico adecuado en función de los peligros que planteaban los líquidos criogénicos que se manipulaban. En respuesta, el ingeniero de ventas de Messer envió un correo electrónico al vicepresidente ejecutivo superior de operaciones de FFG indicando:

[Messer] recomienda encarecidamente el uso de monitores de [o]xígeno y [dióxido de carbono] montados permanentemente, complementados con el uso de monitores personales/portátiles como parte del sistema de seguridad de la planta.

Junto con esta notificación en agosto de 2020, Messer proporcionó a FFG información sobre la iniciativa Responsible Care de Messer e información sobre cómo obtener monitores atmosféricos, como se muestra en la **Figura 29**.

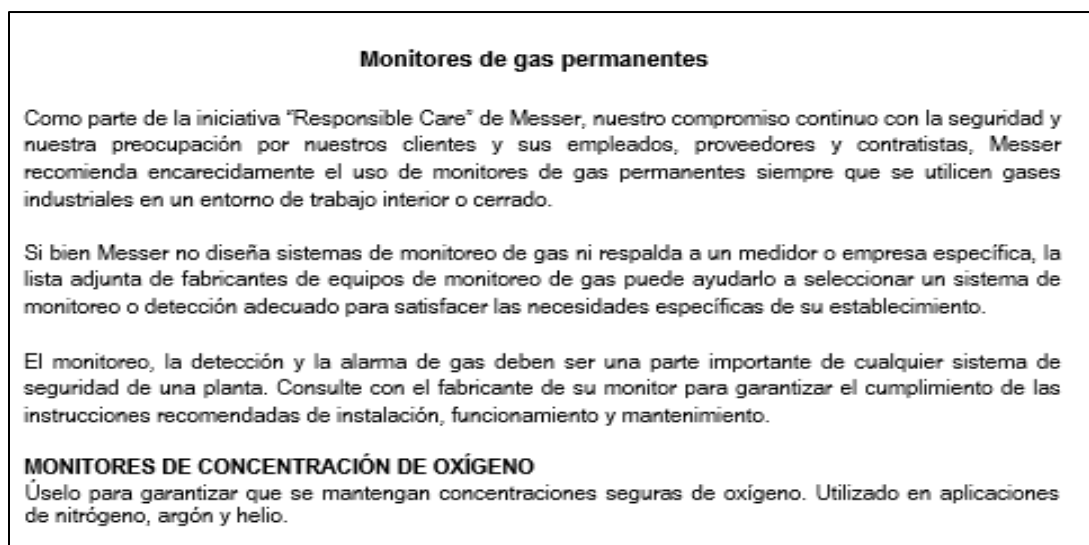


Figura 29. Extracto de la notificación de Messer a FFG sobre la necesidad de monitoreo atmosférico. (Crédito: Messer)

Como se analizó en la Sección 4.2.1, FFG continuó operando el congelador sin monitoreo atmosférico en el momento del incidente.

Conocimiento de la falta de ventilación mecánica y los riesgos que presenta la ubicación del congelador

Como se analizó en la Sección 4.4.1.4, el cuarto frío de la línea 4 de FFG no estaba equipado con HVAC ni ventilación industrial. Durante la instalación del congelador, Messer se dio cuenta de la falta de ventilación mecánica en el cuarto seleccionado por FFG para instalar el equipo de congelación. El sistema de escape instalado en el equipo de congelación requería un suministro de aire fresco para reponer el aire extraído del sistema de escape, llamado aire de reposición. Por contrato, Messer proporcionó el cálculo del volumen de aire de reposición a FFG, y FFG fue responsable de garantizar que se cumplieran los requisitos de ventilación. En una entrevista posterior al incidente con la CSB, el director del proyecto de Messer expresó su preocupación por la falta de ventilación y la falta de aire de reposición en el cuarto frío:

Por lo general, los clientes tienen enormes unidades de aire de reposición en su cuarto, por lo que cuando se agrega [el congelador] allí, no hay problema. Aún tendrá la

^a La línea de proceso observada manejaba dióxido de carbono criogénico, que presenta un riesgo de asfixia similar al nitrógeno líquido.

circulación de aire. Algunos de ellos tienen que agregar sopladores a las unidades de aire de reposición para básicamente compensar lo que estamos sacando.

[En el cuarto frío de la línea 4], no vi ningún aire de reposición, lo que llamamos circulación forzada.

El director del proyecto Messer añadió:

[Messer no] hace un cálculo completo de HVAC, evalúa el tamaño real del cuarto y calcula lo que está sucediendo. Simplemente sabemos que el [escape] de este congelador está extrayendo esta cantidad de aire del cuarto, y si desea mantener la integridad de ese cuarto, simplemente asegúrese de poder reemplazarlo, asegúrese de que ese mismo suministro esté allí.

Como se analizó en la Sección 4.4.1.4, FFG dependía de la abertura del cuarto de procesamiento adyacente para suministrar aire de reposición. Este método de suministro de aire de reposición no es fiable, como lo describe el director del proyecto de Messer:

Con la [...] abertura, eso es circulación natural. Así que no contamos con la circulación natural como flujo porque puede variar y es muy difícil de medir. Contamos con circulación forzada. Eso significa que se coloca una determinada unidad de aire de reposición allí. Usted sabe lo que eso significa. Usted puede confiar en ella. Y está lanzando aire en el espacio y está haciendo su trabajo.

Luego de una visita al sitio en otra parte del establecimiento en agosto de 2020, el ingeniero de ventas de Messer envió un correo electrónico al vicepresidente ejecutivo superior de operaciones de FFG transmitiéndole inquietudes sobre el diseño general de ventilación de FFG:

Messer quisiera enfatizar la necesidad de sistemas de ventilación/extracción adecuados para garantizar que la atmósfera de la planta contenga niveles de [dióxido de carbono] y [nitrógeno] por debajo de los límites de exposición y los niveles de oxígeno estén por encima del 19.5 %.

FFG no abordó los problemas de ventilación. Como se analizó en las Secciones 4.4.1.4 y 4.2.1, FFG continuó operando el congelador sin ventilación mecánica del cuarto ni sistemas de alarma y monitoreo atmosférico.

Messer también habría sido consciente de que el cuarto estaba mayoritariamente cerrado por encima de los cinco pies de altura y casi completamente cerrado por debajo de los cinco pies de altura. A pesar de los riesgos inherentes al cuarto frío de la línea 4, Messer no se opuso a que FFG colocara el congelador, ni en la fase de propuesta ni en la de construcción, y Messer continuó suministrando nitrógeno líquido a FFG. Messer alquilaba el congelador a FFG y podría haberse opuesto a la colocación del congelador, suspender el suministro de nitrógeno líquido o rescindir^a el contrato.

Conocimiento de los bloqueos desactivados

El 26 de enero de 2021, dos días antes del incidente, el ingeniero de ventas de Messer estaba observando el congelador en espiral por inmersión de la línea 4 cuando descubrió que una puerta del congelador bloqueada estaba abierta mientras el congelador estaba funcionando, una condición que normalmente cerraría automáticamente el flujo de nitrógeno al

^a Dado que Messer era propietario del congelador en espiral por inmersión, FFG no podía contractualmente sustituir a Messer por otro proveedor de nitrógeno líquido sin sustituir también el equipo.

congelador. Según el ingeniero de ventas de Messer, cuando la seguridad de la puerta y la tapa están correctamente instaladas, no es posible abrir la puerta durante las operaciones en condiciones normales:

Esas puertas deben estar cerradas para que funcione el congelador. De modo que están todas selladas durante el funcionamiento. Si abre esas puertas, esos interruptores magnéticos emitirán una alarma, apagarán todo y aumentarán el escape a máxima velocidad.

Al descubrir esta situación, el ingeniero de ventas de Messer informó verbalmente al gerente de mantenimiento de FFG que el bloqueo inoperable representaba un peligro para la seguridad y necesitaba ser reparado:

Bueno, inicialmente la máquina estaba en modo apagado, por lo que en realidad no estaba funcionando, por lo que no tuve respuesta cuando la puerta de transición se abrió en esas condiciones. Pero una vez que comenzaron a hacer funcionar la máquina y noté que la puerta de la caja de transición todavía estaba abierta, reconocí que esa no es una condición aceptable. Y le dije [al gerente de mantenimiento de FFG] y al encargado de mantenimiento que esa era una condición insegura y que necesitaba ser reparada.

Durante la investigación, la CSB determinó que los interruptores de seguridad de la puerta de la caja de transición y de la tapa del congelador habían sido manipulados de tal manera que fueron desactivados, como se muestra en la **Figura 30**. En la condición en que se encontró, el sistema reconocería que la puerta y la tapa estaban cerradas, independientemente de sus posiciones reales, lo que permitiría abrir la puerta o la tapa para acceder al interior del congelador incluso cuando el congelador estuviera en funcionamiento. Como dijo el ingeniero de ventas de Messer a la CSB:

Ese imán fue retirado de la puerta y pegado con cinta adhesiva al interruptor. Alguien quitó el imán de la puerta y lo pegó con cinta adhesiva al interruptor para poder abrir la puerta mientras el congelador está funcionando.

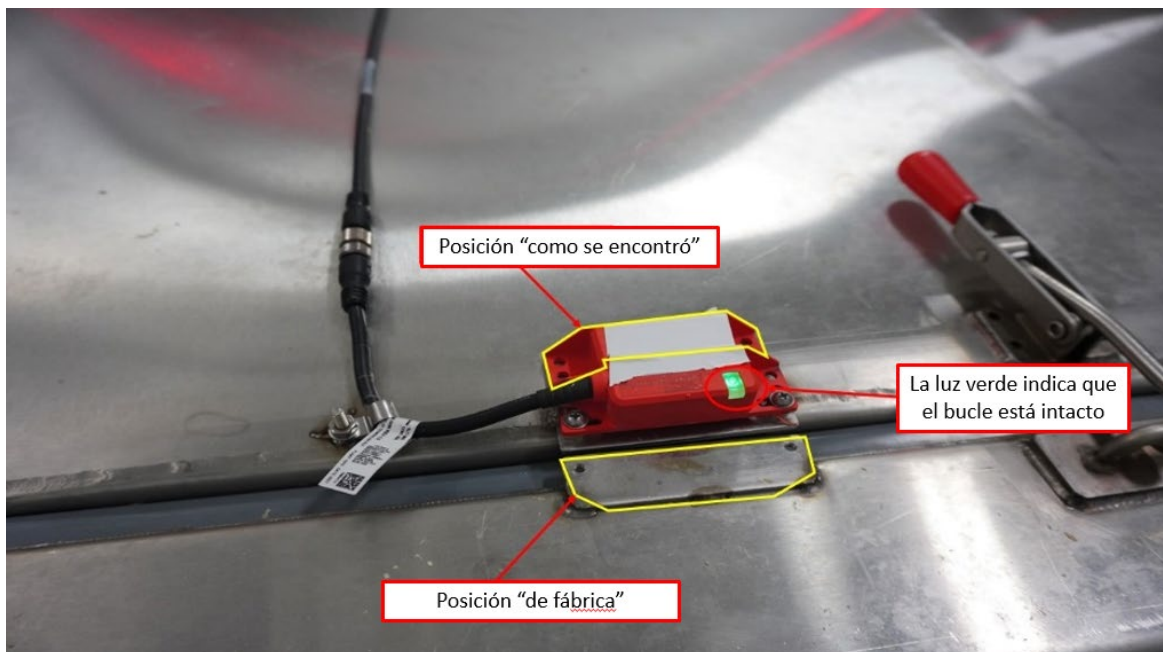


Figura 30. Interruptores de seguridad de puerta de caja de transición desactivados. (Crédito: CSB)

Antes del incidente, el ingeniero de ventas de Messer no informó esta condición a nadie en Messer, supuestamente porque el personal de mantenimiento de FFG le dijo que los interruptores se restaurarían a sus posiciones adecuadas. Sin embargo, FFG no había reparado los interruptores desactivados de las puertas antes del incidente.

La CSB concluye que Messer no practicó una administración eficaz del producto antes del incidente. Messer estaba al tanto de varios casos de deficiencias de seguridad de procesos y malas prácticas de seguridad de FFG, pero aun así comisionó el congelador a FFG. Utilizando una administración más eficaz del producto, Messer podría haber evitado este incidente 1) objetando la colocación del congelador en un cuarto particularmente susceptible a la deficiencia de oxígeno; 2) negándose a poner en servicio su equipo de congelación hasta que FFG proporcionara sistemas de alarma y monitoreo atmosférico adecuados; 3) suspendiendo el suministro de nitrógeno líquido hasta que se hayan solucionado las deficiencias de seguridad; o 4) terminando la relación con FFG y retirando su equipo.

4.5.3 ACCIONES DE MESSER DESPUÉS DEL INCIDENTE

Después del incidente, Messer implementó un nuevo programa de seguridad de administración de productos, que incluye un proceso de evaluación de seguridad para equipos de congelación y tuberías de suministro asociadas en los sitios de los clientes de Messer, aplicable a sitios donde Messer suministra nitrógeno líquido y dióxido de carbono líquido. Como parte del programa, Messer realizará inspecciones de seguridad cuando participe en nuevos negocios o uso adicional para nuevas instalaciones de congeladores de alimentos, a pedido del cliente o cuando un empleado de Messer note una inquietud. Además, Messer realizará una inspección de seguridad para todos los clientes existentes de congelación de alimentos. Las inspecciones de seguridad incluirán revisiones de:

- condiciones atmosféricas;
- monitoreo atmosférico entrelazado con el suministro de líquido criogénico;
- sistemas de escape;
- equipos de aplicación de suministro de tuberías de líquido criogénico;
- dispositivos de alivio de presión;
- compatibilidad de materiales;
- permisos de seguridad, bloqueos y alarmas;
- autorizaciones de equipos;
- SDS;
- materiales de capacitación sobre productos; y
- manuales y dibujos del equipo.

Al iniciar nuevos negocios, Messer requiere lo siguiente en el sitio del cliente:

- Monitoreo atmosférico montado permanentemente bloqueado en equipos de aplicación o válvulas de cierre de emergencia que cortan el suministro de líquido criogénico cuando está en estado de alarma;
- Prueba de escape instalado y bloqueado en todos los equipos de aplicación que no permitirán el flujo de líquido criogénico cuando el escape no esté funcionando;

- Se instalaron sistemas seguros de tuberías de líquidos criogénicos; y
- Presencia de SDS de nitrógeno o dióxido de carbono de Messer y hojas de seguridad del producto, y materiales de capacitación sobre seguridad del producto.



Para los clientes existentes, Messer estableció un sistema de clasificación codificado por colores, como se muestra en la **Figura 31**. En respuesta a una calificación de Rojo por parte de un cliente, Messer puede optar por cerrar el proceso del cliente.

Figura 31. Sistema de calificación de seguridad del cliente de Messer (Crédito: Messer)

La CSB concluye que el programa de inspección de seguridad del cliente recientemente desarrollado por Messer proporciona una revisión sólida de las prácticas de seguridad del cliente de nitrógeno líquido y puede ayudar a prevenir futuros incidentes similares al de FFG.

A pesar de estos cambios positivos, el programa de administración de productos de Messer no implica ninguna revisión o participación en el PHA de un cliente, una práctica crítica en la que se identifican y controlan los peligros específicos de las instalaciones y los procesos. Aunque Messer no puede obligar a sus clientes a realizar un PHA o contratar a un tercero para realizar un PHA, Messer puede participar en PHA realizados por aquellos clientes que deseen hacerlo y pueden considerar tomar cualquiera de las acciones de administración de productos mencionadas anteriormente para aquellos clientes que no estén dispuestos a hacerlo.

Como se analizó en la Sección 4.5.2, la P-86 de la CGA establece que las organizaciones deben completar una evaluación de riesgos integral para considerar los riesgos de seguridad de los procesos para los clientes. Además, como se analiza en la Sección 4.1.2, las *Directrices para los procedimientos de evaluación de peligros* del CCPS brindan una guía sobre la ejecución del PHA. Además, el programa de administración de productos de Messer no implica la verificación de señalización, etiquetado y comunicación de peligros adecuados, ni menciona explícitamente interruptores de emergencia (paradas de emergencia). Por lo tanto, la CSB recomienda que Messer actualice la política de administración de productos de la empresa para:

- a) incluir la participación de Messer en los análisis de peligros del proceso (PHA) de los clientes. La política debe exigir que estos PHA se realicen de manera que cumplan con las *Directrices para los procedimientos de*

evaluación de peligros del Centro para la Seguridad de Procesos Químicos (CCPS) antes del inicio de un proceso de congelación criogénica;

- b) exigir la verificación de que se muestre la señalización adecuada, de acuerdo con la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA, en el equipo o cerca de este; y,
- c) requerir una revisión de la ubicación del establecimiento o equipos para garantizar que los interruptores de emergencia, incluidas las paradas de emergencia, estén ubicados de manera que puedan accionarse de manera segura durante una fuga de nitrógeno líquido.

Además, la CSB recomienda que Messer cree un material informativo que proporcione a los clientes de Messer información sobre los problemas de seguridad descritos en este informe. En este material informativo, recomendamos que los clientes de Messer desarrollen e implementen sistemas de gestión de seguridad eficaces para controlar los riesgos de asfixia por gases inertes basados en la guía publicada en la P-86 *Guía para la gestión de la seguridad de procesos* de la CGA, la P-12 *Guía para el manejo seguro de líquidos criogénicos y refrigerados* de la CGA, la P-18 *Estándar para sistemas de gas inerte a granel* de la CGA y la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA.

5 CONCLUSIONES

5.1 HALLAZGOS

Análisis técnico

1. El nitrógeno líquido se desbordó del congelador por inmersión. El desbordamiento de nitrógeno líquido fue causado por una falla en el control de nivel del congelador y en los sistemas de bloqueo de seguridad de alto nivel.
2. La falla del control de nivel del congelador y de los sistemas de bloqueo de seguridad de alto nivel fue causada por la deformación del medidor de tipo burbujeo.
3. El medidor de tipo burbujeo probablemente se dobló la mañana del incidente durante las actividades de resolución de problemas de mantenimiento, probablemente entre las 8:20 a. m. y aproximadamente las 9:30 a. m.
4. No hubo pruebas suficientes para determinar exactamente cuándo se dobló el medidor. Por lo tanto, la CSB no pudo determinar con precisión cuándo comenzó la fuga incontrolada.
5. La CSB no pudo determinar definitivamente cómo se dobló el medidor.
6. La CSB no pudo determinar si los dos trabajadores de mantenimiento tenían suficiente conocimiento, tiempo y capacidad para evitar la fuga activando una parada de emergencia o para escapar del cuarto de manera segura antes de la pérdida de contención.
7. La fuga incontrolada de nitrógeno líquido probablemente cesó aproximadamente a las 10:15 a. m., cuando se cerraron las válvulas de descarga operadas manualmente del tanque de almacenamiento a granel, ubicadas fuera del edificio.
8. Como máximo, aproximadamente 6,300 galones (aproximadamente 42,400 libras) de nitrógeno líquido se fugaron del congelador por inmersión de la línea 4 de FFG, aunque la cantidad real liberada probablemente fue menor. No hubo pruebas suficientes para determinar la cantidad exacta de nitrógeno líquido liberado porque no fue posible determinar cuándo comenzó la fuga.
9. El nitrógeno líquido liberado se vaporizó, se acumuló en el cuarto frío y produjo una atmósfera deficiente en oxígeno dentro del cuarto.

Punto simple de fallo

10. El congelador por inmersión fue diseñado de manera que la falla de un solo dispositivo de medición de nivel podría desactivar tanto el sistema de control del nivel de nitrógeno como el bloqueo de seguridad de emergencia destinado a detener el flujo de nitrógeno al congelador. Después de doblar el medidor de tipo burbujeo, no había nada que impidiera la fuga de nitrógeno del congelador.
11. Linde no diseñó el congelador en espiral por inmersión de acuerdo con la orientación para la industria sobre puntos simples de fallo para sistemas instrumentados. Si Linde o Messer hubieran incluido salvaguardas independientes adicionales para proteger contra eventos de desbordamiento, este incidente podría haberse evitado.
12. Linde no consideró adecuadamente la falla del sistema de control del nivel de nitrógeno líquido y no identificó salvaguardias apropiadas para mitigar la falla potencial. En esencia, Linde identificó erróneamente el medidor de tipo burbujeo como una protección para sí mismo.

13. Linde no identificó escenarios de incidentes específicos o pares de causa-consecuencia al realizar el PHA para el congelador en espiral por inmersión, lo que resultó en que Linde no identificara salvaguardias adecuadas para proteger contra el desbordamiento de nitrógeno líquido del congelador por inmersión.
14. Los procedimientos y prácticas de control de calidad de Messer fueron ineficaces para garantizar que las dos abrazaderas de soporte en el medidor de tipo burbujeo estuvieran en su lugar en el momento de la inspección. Como resultado, Messer no pudo identificar la abrazadera de soporte faltante durante la inspección de control de calidad.
15. La combinación de una longitud de tubería no asegurada y la ubicación de la abrazadera de soporte empeoró la posibilidad de que el medidor de tipo burbujeo se doblara, lo que finalmente resultó en que el sistema de burbujeo dejara de funcionar.

Sistemas de alarma y monitoreo atmosférico

16. Messer informó a FFG al menos en tres ocasiones de la necesidad de realizar un monitoreo atmosférico de sus procesos de nitrógeno líquido. A pesar de las recomendaciones de Messer, ni FFG ni Messer tomaron medidas para instalar equipos de monitoreo o alarma en el proceso de la línea 4, que podrían haber alertado a los trabajadores sobre la presencia de una atmósfera deficiente en oxígeno y, si se hubieran diseñado en consecuencia, podría haber provocado un cierre apagado de emergencia de los sistemas de nitrógeno líquido.
17. FFG no siguió las orientaciones para la industria sobre el uso de monitoreo atmosférico y alarmas para su proceso de nitrógeno líquido y, como resultado, mucho personal no sabía que no era seguro ingresar al cuarto frío el día del incidente.
18. Si Messer o FFG hubieran considerado, diseñado, instalado, probado y mantenido adecuadamente un sistema de alarma y monitoreo atmosférico en el cuarto frío, los trabajadores habrían sido advertidos contra la entrada a la atmósfera deficiente en oxígeno, lo que podría haber evitado las posteriores muertes y lesiones graves a los trabajadores de FFG.
19. La orientación para la industria sobre el dióxido de carbono es extensa. Unas directrices comparables y específicas para el nitrógeno líquido podrían ayudar a prevenir futuros incidentes similares al de FFG.

Preparación para emergencias

20. Aunque FFG tenía un plan de acción de emergencia escrito, era muy inadecuado para abordar una emergencia de nitrógeno líquido. Sus deficiencias incluyeron que 1) no estaba escrito en español, el cual era el idioma principal de muchos de los trabajadores de FFG; 2) no hacía mención a la existencia de nitrógeno líquido en la instalación; 3) no hacía mención de los peligros del nitrógeno líquido; 4) no tenía instrucciones sobre cómo responder, si responder y cuándo responder a una fuga de nitrógeno líquido, aparte de las instrucciones generales de evacuación; 5) no contenía información ni plan sobre cómo se debía notificar a los empleados sobre una emergencia; 6) no contenía información sobre lo que constituía una emergencia o los tipos de emergencias a las que los empleados podrían necesitar responder; y 7) no tenía ninguna disposición para interactuar proactivamente con los socorristas locales a pesar de la práctica declarada de la empresa de confiar en ellos para la respuesta de emergencia.
21. Como resultado de la mala comunicación de emergencia de FFG, los empleados que intentaron responder al incidente o evacuar el edificio fueron mínimamente informados, si es que recibieron algún tipo de información, sobre la naturaleza y gravedad de la emergencia.
22. Los cuatro trabajadores que posteriormente resultaron con lesiones mortales estaban intentando algún tipo de respuesta ante la fuga.

23. FFG no preparó a su personal de ninguna manera significativa para responder a una fuga de nitrógeno líquido. Las deficiencias de la empresa incluyeron 1) la falta de capacitación en respuesta de emergencia para su fuerza laboral; 2) su falta de capacitación de los empleados sobre cómo identificar una fuga de nitrógeno líquido; 3) la falta de medios automatizados para detectar e informar a sus trabajadores sobre una fuga de nitrógeno líquido; y 4) instrucciones insuficientes a sus empleados para que no respondan o intenten socorrer durante una fuga de nitrógeno líquido.
24. Como resultado de la falta de preparación de FFG, la gravedad del incidente aumentó considerablemente durante las actividades de evacuación y respuesta cuando cuatro empleados adicionales resultaron con lesiones mortales, tres empleados resultaron con lesiones de gravedad y al menos otros siete sufrieron lesiones leves o resultaron ilesos, pero podrían haber sufrido lesiones graves o mortales. Si FFG hubiera preparado eficazmente a su personal para una fuga de nitrógeno líquido, se podrían haber evitado las cuatro muertes adicionales y tres de las cuatro lesiones graves.
25. Los documentos de política y los procedimientos de emergencia de Gold Creek son más sólidos que lo que era el plan de acción de emergencia de FFG en el momento del incidente y podrían haber reducido la gravedad de este incidente si FFG hubiera implementado políticas y procedimientos similares.
26. Los botones de parada de emergencia del congelador en espiral por inmersión de la línea 4 requirieron que un empleado o una persona que no estuviera en el cuarto frío ingresara a una atmósfera con deficiencia de oxígeno durante una fuga de nitrógeno líquido para activar una parada de emergencia. Este diseño no era seguro. Como resultado, una vez que los dos trabajadores de mantenimiento de FFG quedaron incapacitados, la fuga incontrolada de nitrógeno líquido no pudo detenerse de manera segura hasta que los empleados cerraron manualmente las válvulas en los tanques de almacenamiento de nitrógeno líquido a granel fuera del edificio o hasta que los socorristas equipados para ingresar a una atmósfera con deficiencia de oxígeno pudieran ingresar al cuarto frío y activar una parada de emergencia. Una colocación más segura de los botones de parada de emergencia y una capacitación eficaz de los empleados sobre su uso podrían haber ayudado a prevenir la muerte de algunos o de los cuatro empleados que fallecieron durante la respuesta de emergencia.
27. Si FFG y Messer hubieran instalado botones de parada de emergencia fuera del cuarto frío de la línea 4, como en las entradas de la cámara o en los tanques de almacenamiento a granel, la fuga incontrolada podría haberse detenido de manera más conveniente.

Sistema de gestión de la seguridad de procesos

28. Durante varios meses antes del incidente, la organización de gestión de seguridad de FFG no incluía empleados con responsabilidad directa sobre las prácticas de seguridad. Si FFG hubiera establecido programas y objetivos de seguridad de procesos; hubiera asignado a personal calificado responsabilidades claras sobre la gestión de la seguridad de procesos; hubiera definido, implementado y seguido los objetivos de seguridad de procesos; y se hubiera asegurado de que el personal directivo de la organización demostrara compromiso con los principios de seguridad de procesos, FFG podría haber evitado el incidente.
29. FFG no identificó ni evaluó peligros específicos de su proceso, como el desbordamiento de nitrógeno líquido y los riesgos de asfixia, y no implementó controles eficaces para mitigar el riesgo.
30. FFG no tenía procedimientos escritos para operar o mantener el congelador de nitrógeno líquido y, por lo tanto, los empleados de FFG no recibieron instrucciones y precauciones claras para operar el equipo. Si FFG hubiera desarrollado procedimientos escritos claros, es probable que los trabajadores de FFG hubieran comprendido la función del congelador, la importancia de los componentes críticos y las precauciones adecuadas al operar y solucionar problemas del equipo, lo que podría haber evitado la fuga.

31. FFG no tenía un proceso de gestión de cambios para identificar, evaluar y gestionar los riesgos introducidos por los cambios de proceso. Durante la introducción del congelador en espiral por inmersión en nitrógeno líquido, FFG no consideró cómo el cambio podría afectar la seguridad del proceso, no incluyó autoridades de aprobación con responsabilidades explícitas en materia de seguridad y no abordó el cumplimiento de la orientación para la industria. Como resultado, FFG no gestionó los riesgos asociados con el uso de un cuarto mayoritariamente cerrado y parcialmente empotrado sin ventilación mecánica e instaló el congelador de nitrógeno líquido en un área particularmente susceptible a una atmósfera con deficiencia de oxígeno.
32. FFG no tenía ningún sistema, plan o programa para capacitar y verificar la competencia de sus empleados al operar el congelador de nitrógeno líquido y trabajar con nitrógeno líquido peligroso o cerca de él. Como resultado, los empleados de FFG en todos los niveles de la organización no estaban conscientes de los peligros del nitrógeno líquido y desconocían las precauciones que deberían haberse tomado.
33. Si el equipo de congelación de nitrógeno líquido y la entrada al cuarto frío de la línea 4 hubieran estado colocados con señales y etiquetas de advertencia adecuadas, los trabajadores podrían haber sido conscientes de los riesgos de asfixia dentro del cuarto.
34. FFG carecía de un sistema eficaz de gestión de la seguridad de procesos para identificar, evaluar y controlar los peligros del proceso de nitrógeno líquido. La falta de supervisión de la seguridad por parte del personal directivo de FFG, la ausencia de un análisis sistemático de los peligros del proceso, la falta de procedimientos escritos, la falta de gestión de prácticas de cambio y la falta de comunicación de los peligros dieron como resultado el manejo absoluto de un agente asfixiante criogénico por parte de personal no capacitado ni preparado. Este incidente podría haberse evitado si FFG hubiera practicado una gestión sólida de la seguridad de los procesos.
35. No existe ninguna regulación que exija a los empleadores que manipulan o procesan agentes asfixiantes líquidos criogénicos, como el nitrógeno líquido, que se adhieran a la orientación para la industria sobre el diseño adecuado y la manipulación segura, ni que implementen un enfoque sólido y sistemático para la seguridad del proceso. Como no era obligatorio, FFG no implementó prácticas importantes de seguridad de procesos que podrían haber evitado la fuga accidental o reducido su gravedad.
36. No existe una guía específica de la OSHA sobre las prácticas de seguridad de procesos necesarias para el uso seguro de agentes asfixiantes criogénicos.

Administración de productos

37. Messer no practicó una administración eficaz del producto antes del incidente. Messer estaba al tanto de varios casos de deficiencias de seguridad de procesos y malas prácticas de seguridad de FFG, pero aun así comisionó el congelador a FFG. Utilizando una administración más eficaz del producto, Messer podría haber evitado este incidente 1) objetando la colocación del congelador en un cuarto particularmente susceptible a la deficiencia de oxígeno; 2) negándose a poner en servicio su equipo de congelación hasta que FFG proporcionara sistemas de alarma y monitoreo atmosférico adecuados; 3) suspendiendo el suministro de nitrógeno líquido hasta que se hayan solucionado las deficiencias de seguridad; o 4) terminando la relación con FFG y retirando su equipo.
38. El programa de inspección de seguridad del cliente recientemente desarrollado por Messer proporciona una revisión sólida de las prácticas de seguridad del cliente de nitrógeno líquido y puede ayudar a prevenir futuros incidentes similares al de FFG.

5.2 CAUSA

La CSB determinó que la causa de la fuga de nitrógeno líquido fue la falla del sistema de control de nivel de líquido del congelador por inmersión para medir y controlar con precisión el nivel de nitrógeno líquido dentro del congelador, la cual ocurrió debido a la deformación del componente del medidor de tipo burbujeo del sistema.

Los siguientes factores contribuyeron al incidente: 1) el diseño del congelador de Messer, que permitió que la falla de un solo dispositivo de medición de nivel resultara en una pérdida incontrolada de contención de nitrógeno líquido; 2) la falta de prácticas o sistemas de gestión de la seguridad de procesos por parte de FFG que podrían haber prevenido el incidente; 3) una falta de cobertura normativa para el nitrógeno líquido, lo que permitió a FFG optar por no implementar prácticas de seguridad de procesos que podrían haber evitado el incidente; y 4) las prácticas inadecuadas de administración de productos de Messer, que llevaron a que Messer continuara suministrando nitrógeno líquido a FFG a pesar de las prácticas inseguras de FFG.

Los siguientes factores contribuyeron a la gravedad del incidente: 1) la preparación inadecuada para emergencias de FFG, la cual provocó que al menos 14 empleados respondieran a la fuga ingresando al cuarto frío o al área circundante para investigar el incidente o intentar rescatar a sus compañeros de trabajo; y 2) la ausencia de dispositivos de alarma y monitoreo atmosférico que pudieran haber alertado a los trabajadores sobre la presencia de una atmósfera peligrosa y advertirles contra el ingreso.

6 RECOMENDACIONES

Para prevenir futuros incidentes químicos y con el fin 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 GOLD CREEK FOODS^a

2021-03-I-GA-R1

Incluir en el programa de acción de emergencia disposiciones para interactuar proactivamente e informar a los recursos locales de respuesta a emergencias sobre todas las emergencias en las antiguas instalaciones de la planta 4 de FFG a las que Gold Creek espera que respondan. Como mínimo, Gold Creek debería:

- informar a los socorristas locales sobre la existencia, naturaleza y ubicación de sustancias peligrosas en sus instalaciones, incluido el nitrógeno líquido;
- informar a los socorristas locales sobre la ubicación de los equipos críticos para emergencias, como tanques de almacenamiento a granel, puntos de uso, válvulas de aislamiento, interruptores de apagado de emergencia y cualquier otro equipo o sistema de emergencia con el que los socorristas puedan necesitar interactuar; y
- proporcionar a los socorristas locales información, como planos de localización, dibujos de ingeniería u otra información necesaria para montar una respuesta de emergencia eficaz.

6.2 MESSER LLC^b

2021-03-I-GA-R2

Actualizar la política de administración de productos de la empresa para:

- incluir la participación de Messer en los análisis de peligros del proceso (PHA) de los clientes. La política debe exigir que estos PHA se realicen de manera que cumplan con las *Directrices para los procedimientos de evaluación de peligros* del Centro para la Seguridad de Procesos Químicos (CCPS) antes del inicio de un proceso de congelación criogénica;
- exigir la verificación de que se muestre la señalización adecuada, de acuerdo con la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA, en el equipo o cerca de este; y,

^aGold Creek ha desarrollado procedimientos de respuesta a emergencias que podrían haber reducido la gravedad de este incidente. En consecuencia, la CSB no hace recomendaciones a Gold Creek relacionadas con el desarrollo de políticas de preparación para emergencias o capacitación de empleados para su programa de acción de emergencia. Además, a partir de la publicación de este informe, no existen procesos de congelación de nitrógeno líquido en el antiguo edificio de la planta 4 de FFG que ahora opera Gold Creek. En consecuencia, la CSB no hace ninguna recomendación a Gold Creek relacionada con las prácticas de gestión de la seguridad de procesos para procesos de nitrógeno líquido.

^bDespués del incidente, Messer revisó el diseño de su congelador para incluir múltiples capas de protección contra el desbordamiento de nitrógeno líquido. Messer también revisó su proceso y procedimientos de control de calidad para exigir la verificación de la presencia de las abrazaderas del medidor de tipo burbujeo necesarias y reordenó la secuencia de pasos de inspección para facilitar esta verificación. En consecuencia, la CSB no hace ninguna recomendación a Messer con respecto al diseño de sus congeladores por inmersión o su proceso de control de calidad.

- c) requerir una revisión de la ubicación del establecimiento o equipos para garantizar que los interruptores de emergencia, incluidas las paradas de emergencia, estén ubicados de manera que puedan accionarse de manera segura durante una fuga de nitrógeno líquido.

2021-03-I-GA-R3

Crear un material informativo que proporcione a los clientes de Messer información sobre los problemas de seguridad descritos en este informe. En este material informativo, recomendamos que los clientes de Messer desarrollen e implementen sistemas de gestión de seguridad eficaces para controlar los riesgos de asfixia por gases inertes basados en la guía publicada en la P-86 *Guía para la gestión de la seguridad de procesos* de la CGA, la P-12 *Guía para el manejo seguro de líquidos criogénicos y refrigerados* de la CGA, la P-18 *Estándar para sistemas de gas inerte a granel* de la CGA y la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA.

6.3 ADMINISTRACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL DE LOS ESTADOS UNIDOS (OSHA)

2021-03-I-GA-R4

Actualizar el Programa de Énfasis Regional de instalaciones de procesamiento de aves de la Región 4 para cubrir explícitamente los procesos de congelación con nitrógeno líquido. Como mínimo, la actualización debe fomentar prácticas aplicables a la gestión de los peligros del uso de nitrógeno líquido y otros agentes asfixiantes criogénicos, incluidas prácticas de gestión de la seguridad de procesos, monitoreo atmosférico, capacitación de empleados y concienciación acerca de los peligros, y preparación y respuesta ante emergencias.

2021-03-I-GA-R5

Actualizar el Programa de Énfasis Regional de la Región 5 para la Industria de Fabricación de Alimentos para cubrir explícitamente los procesos de congelación con nitrógeno líquido. Como mínimo, la actualización debe fomentar prácticas aplicables a la gestión de los peligros del uso de nitrógeno líquido y otros agentes asfixiantes criogénicos, incluidas prácticas de gestión de la seguridad de procesos, monitoreo atmosférico, capacitación de empleados y concienciación acerca de los peligros, y preparación y respuesta ante emergencias.

2021-03-I-GA-R6

Actualizar el Programa de Énfasis Regional de instalaciones de procesamiento de aves de la Región 6 para cubrir explícitamente los procesos de congelación con nitrógeno líquido. Como mínimo, la actualización debe fomentar prácticas aplicables a la gestión de los peligros del uso de nitrógeno líquido y otros agentes asfixiantes criogénicos, incluidas prácticas de gestión de la seguridad de procesos, monitoreo atmosférico, capacitación de empleados y concienciación acerca de los peligros, y preparación y respuesta ante emergencias.

2021-03-I-GA-R7

Promulgar una norma específica para los agentes asfixiantes criogénicos. El propósito de esta norma será la prevención o mitigación de los peligros que surgen del almacenamiento, uso o manipulación de estas sustancias. La nueva norma hará referencia a las normas de consenso nacional aplicables, como las publicadas por la Asociación de Gas Comprimido (Compressed Gas Association) y otras, según corresponda. Como mínimo, la nueva norma deberá:

- a) Abordar los requisitos para el diseño, construcción e instalación de equipos de proceso que almacenen o utilicen agentes asfixiantes criogénicos;

- b) Requerir monitoreo atmosférico donde el equipo que almacena o usa agentes asfixiantes criogénicos está ubicado en interiores;
- c) Exigir sistemas de apagado de emergencia tales que los equipos que almacenen o utilicen agentes asfixiantes criogénicos puedan aislarse sin peligro durante una fuga;
- d) Abordar los requisitos para la capacitación de los empleados y la concientización acerca de los peligros específicos de los agentes asfixiantes criogénicos;
- e) Requerir un plan de acción de emergencia de acuerdo con la sección 1910.38 del Título 29 del Código de Regulaciones Federales (CFR); y
- f) Abordar los requisitos para el uso de elementos de gestión de la seguridad de procesos, como análisis de peligros del proceso, gestión de cambios, procedimientos y otros que se consideren necesarios a través del proceso de elaboración de normas para prevenir o mitigar estos peligros.

2021-03-I-GA-R8

Desarrollar y publicar un Documento guía (similar a 3912-03 Gestión de la seguridad de procesos para la fabricación de explosivos y pirotecnia de la OSHA) para las prácticas de gestión de la seguridad de procesos aplicables a procesos que manejan gases comprimidos y agentes asfixiantes criogénicos, incluidas (como mínimo) las prácticas destacadas en este informe.

6.4 ASOCIACIÓN DE GAS COMPRIMIDO (CGA)

2021-03-I-GA-R9

Desarrollar una norma integral para el almacenamiento, manejo y uso seguro de nitrógeno líquido en instalaciones fijas, comparable a la guía presentada en la G-6.5 *Estándar para pequeños sistemas estacionarios de suministro de dióxido de carbono aislados* de la CGA. Como mínimo, la norma debería incluir:

- a) requisitos y guía sobre la ubicación, el mantenimiento y las pruebas funcionales de los dispositivos de monitoreo atmosférico;
- b) requisitos para indicación de alarma visible y audible distinta del sistema de alarma contra incendios del edificio y en una ubicación con asistencia continua;
- c) guía sobre el diseño, función, mantenimiento y pruebas periódicas y ubicación de los sistemas de ventilación de emergencia y de habitaciones; y
- d) requisitos y guía sobre la ubicación de los dispositivos de apagado de emergencia, incluidas las paradas de emergencia.

2021-03-I-GA-R10

Actualizar la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno*. Como mínimo, la norma actualizada debería:

- a) exigir que los sistemas de monitoreo atmosférico *utilicen* con procesos, equipos y sistemas de tuberías capaces de detectar atmósferas deficientes en oxígeno;
- b) exigir que los sistemas de monitoreo atmosférico proporcionen indicaciones de alarma visibles y audibles distintas del sistema de alarma contra incendios de un edificio y en una ubicación con asistencia continua;

- c) exigir que los procesos, equipos y sistemas de tuberías capaces de producir atmósferas deficientes en oxígeno estén equipados con válvulas de aislamiento de emergencia de activación remota (ROEIV); e
- d) incluir guía sobre la ubicación segura y adecuada de los dispositivos de parada de emergencia. Como mínimo, esta guía debe armonizarse con los requisitos de la norma ISO 13850 *Seguridad de las máquinas – Función de parada de emergencia – Principios para el diseño*. Según sea necesario, aumentar la guía general de la norma ISO 13850 con guía específica para procesos, equipos y tuberías que utilizan los agentes asfixiantes criogénicos y los gases inertes.

6.5 ASOCIACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS (NFPA)

2021-03-I-GA-R11

Actualizar la NFPA 55 *Código de gases comprimidos y fluidos criogénicos* para:

- a) requerir el uso de monitoreo atmosférico con agentes asfixiantes criogénicos de acuerdo con la orientación para la industria, como la contenida en la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA y la P-12 *Manejo seguro de líquidos criogénicos* de la CGA, además de la P-18 *Estándar para sistemas de gas inerte a granel de la CGA*; e
- b) incluir la guía sobre la ubicación segura y adecuada de válvulas de cierre manual y dispositivos como botones pulsadores de emergencia utilizados para activar válvulas de aislamiento de emergencia de activación remota (ROEIV). Como mínimo, esta guía debe armonizarse con los requisitos de la norma ISO 13850 *Seguridad de las máquinas – Función de parada de emergencia – Principios para el diseño*.

6.6 INTERNATIONAL CODE COUNCIL (ICC)

2021-03-I-GA-R12

Actualizar el Código Internacional de Protección contra Incendios para:

- a) requerir el uso de monitoreo atmosférico con agentes asfixiantes criogénicos de acuerdo con la orientación para la industria, como la contenida en la P-76 *Peligros de atmósferas deficientes en oxígeno* de la CGA y la P-12 *Manejo seguro de líquidos criogénicos* de la CGA, además de la P-18 *Estándar para sistemas de gas inerte a granel* de la CGA; e
- b) incluir la guía sobre la ubicación segura y adecuada de válvulas de cierre manual y dispositivos como botones pulsadores de emergencia utilizados para activar válvulas de aislamiento de emergencia de activación remota (ROEIV) en servicios de fluidos criogénicos. Como mínimo, esta guía debe armonizarse con los requisitos de la norma ISO 13850 *Seguridad de las máquinas – Función de parada de emergencia – Principios para el diseño*.

7 LECCIONES CLAVE PARA LA INDUSTRIA

Para prevenir futuros incidentes químicos y con el fin 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:

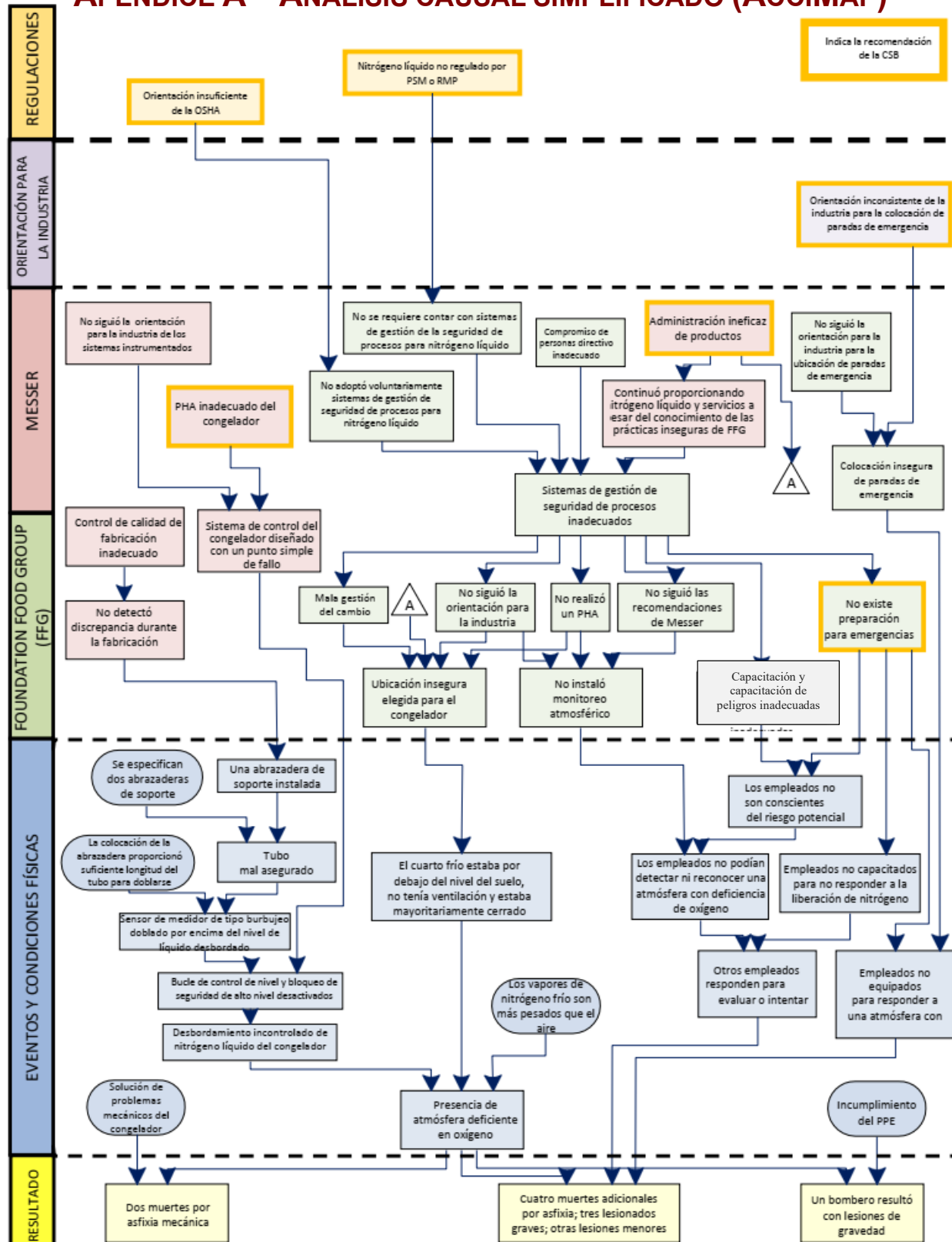
1. Los procesos y equipos que utilizan materiales peligrosos deben diseñarse con la suficiente solidez para que la falla de un solo componente no pueda resultar en un incidente catastrófico.
2. Los establecimientos que manejan gases peligrosos o agentes asfixiantes criogénicos deben tener un sistema de alarma y monitoreo atmosférico en funcionamiento basado en una evaluación de riesgos realizada adecuadamente. Los sistemas de monitoreo atmosférico en funcionamiento consisten en equipos que han sido diseñados, instalados, mantenidos, inspeccionados y probados adecuadamente, y alertarán al personal sobre una atmósfera peligrosa mediante alarmas sonoras y visuales.
3. El personal directivo en seguridad comienza con la administración. Designar personal competente y con recursos con responsabilidad sobre programas de seguridad específicos es clave para garantizar una seguridad eficaz del proceso. La administración debe tener conocimiento e involucrarse en cada uno de estos programas de seguridad para brindar una supervisión eficaz.
4. Un PHA solo puede ser eficaz si es específico del proceso que evalúa. Si no se consideran escenarios específicos de las instalaciones, se pierden oportunidades de identificar, evaluar y controlar los peligros de manera eficaz. Las empresas que instalan equipos en un proceso en sus empresas siempre deben realizar un PHA considerando los peligros introducidos por el proceso, el equipo, la distribución de los instalaciones o cuartos, el área circundante y los factores externos.
5. Es fundamental que los trabajadores reciban capacitación sobre los peligros de los materiales que encuentran. Se puede asumir incorrectamente que los productos químicos no inflamables y no tóxicos, como el nitrógeno, no son peligrosos sin la capacitación y la comunicación de peligros adecuadas. Las empresas que manipulan estos materiales tienen la obligación de formar e informar a sus empleados.
6. Los fabricantes de alimentos no son inmunes a los peligros químicos y los riesgos de seguridad de los procesos. Siempre que una organización introduce una sustancia química peligrosa en su proceso, debe implementar prácticas sólidas de gestión de la seguridad de procesos para controlar eficazmente los riesgos, independientemente de si alguna regulación exige que la organización lo haga.
7. Las regulaciones son requisitos mínimos. La necesidad de prácticas sólidas de gestión de la seguridad de procesos existe dondequiera que se fabriquen, procesen, almacenen y utilicen productos químicos peligrosos, independientemente de su cobertura regulatoria. Las empresas deben ser conscientes de los peligros que plantean los productos químicos que manipulan y deben implementar sistemas eficaces de gestión de la seguridad de los procesos para controlar los riesgos de seguridad de los procesos.

8 REFERENCIAS

- [1] Messer Americas, "Messer Brings Gases Expertise to Americas, After Mess Group, CVC Close Acquisition," 1 March 2019. [Online]. Available: <https://www.messeramericas.com/news/messer-brings-gases-americas>.
- [2] Messer Americas, "About Messer Americas," [Online]. Available: <https://www.messeramericas.com/our-company>.
- [3] Foundation Food Group, "Products," [Online]. Available: <https://www.foundationfoodgroup.com/products.html>. [Accessed 17 March 2021].
- [4] P. Yanisko and D. Croll, "Use Nitrogen Safely," March 2012. [Online]. Available: <https://www.airproducts.com.tw/~media/downloads/article/U/en-use-nitrogen-safely-312-12-023.pdf>. [Accessed 19 March 2021].
- [5] Compressed Gas Association (CGA), *CGA P-12 Safe Handling of Cryogenic Liquids*, 6th ed., 2017.
- [6] Compressed Gas Association (CGA), *CGA P-76 Hazards of Oxygen-Deficient Atmospheres*, 1st ed., 2018.
- [7] Messer North America, Inc., "Nitrogen, Refrigerated Liquid Safety Data Sheet," [Online]. Available: <https://www.messer-us.com/products/nitrogen>. [Accessed 17 March 2021].
- [8] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB), "Safety Bulletin: Hazards of Nitrogen Asphyxiation," 2003.
- [9] C. Kennedy, "Review of cryogenic vs. mechanical freezers," *Air Products - Cold feat: choosing the right freezing technology for your production line*, 2014.
- [10] Messer, *Fact Sheet: Nitrogen Immersion-Spiral Freezers*, 2019.
- [11] N. E. Battikha, *The Condensed Handbook of Measurement and Control*, 3rd ed., The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2007.
- [12] Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Safe and Reliable Instrumented Protective Systems*, 2007: Wiley, New York.
- [13] International Society of Automation (ISA), *ISA 61511 Functional Safety — Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector*, Washington: American National Standards Institute (ANSI), 2018.
- [14] Center for Chemical Process Safety (CCPS), "CCPS Process Safety Glossary," [Online]. Available: <https://www.aiche.org/ccps/resources/glossary>. [Accessed 16 August 2023].
- [15] Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures (3rd Edition)*, New York: Wiley, 2008.
- [16] T. J. Peterson and J. G. Weisend II, "Cryogenic Safety A Guide to Best Practice in the Lab and Workplace," in *International Cryogenics Monograph Series*, 2019.
- [17] Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Continuous Monitoring for Hazardous Material Releases*, Wiley, 2009.
- [18] Compressed Gas Association (CGA), *P-12 Guideline for Safe Handling of Cryogenic and Refrigerated Liquids*, 7th ed., 2023.
- [19] Compressed Gas Association (CGA), *CGA P-18 Standard for Bulk Inert Gas Systems*, 5th ed., 2020.
- [20] International Code Council (ICC), "Who We Are," [Online]. Available: <https://www.iccsafe.org/about/who-we-are/#:~:text=The%20International%20Code%20Council%20is,technology%2C%20training%2C%20and%20certification..> [Accessed 25 August 2023].
- [21] International Code Council (ICC), *International Fire Code (IFC)*, 2021.
- [22] National Fire Protection Association (NFPA), *NFPA 55 Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code*, 2020 ed., 2019.
- [23] Compressed Gas Association (CGA), *G-6.5 Standard for Small Stationary Insulated Carbon Dioxide Systems*, 5th ed., 2022.
- [24] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), "Emergency Planning and Community Right-to-Know Act (Non-Section 313) Regulations and Amendments," [Online]. Available: <https://www.epa.gov/epcra/emergency-planning-and-community-right-know-act-non-section-313-regulations-and-amendments>. [Accessed 11 Nov 2023].
- [25] International Organization for Standardization (ISO), *ISO-13850 Safety of machinery - Emergency stop function - Principles of design*, 3rd ed., 2015.
- [26] 29 CFR 1910.119, *Process safety management of highly hazardous chemicals*.
- [27] 40 CFR 68, *Chemical Accident Prevention Provisions*.
- [28] Center for Chemical Process Safety (CCPS), *Guidelines for Risk Based Process Safety*, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2007.
- [29] U.S. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), "About OSHA," [Online]. Available: <https://www.osha.gov/aboutosha>. [Accessed 5 October 2023].
- [30] 29 CFR 1910.1200, *Hazard Communication*, Occupational Safety and Health Administration (OSHA).
- [31] 29 CFR 1910.147, *Control of Hazardous Energy (Lockout/Tagout)*, Occupational Safety and Health Administration (OSHA).
- [32] OSH Act of 1970 Section 5(a)(1), *General Duty Clause*, Occupational Safety and Health Administration (OSHA).
- [33] 29 CFR 1910.120, *Hazardous Waste Operations and Emergency Response*, Occupational Safety and Health Administration (OSHA).
- [34] U.S. Department of Labor, "U.S. Department of Labor Cites South Dakota Bull Stud Facility After Employee Asphyxiated While Handling Liquid Nitrogen," *OSHA News Release - Region 8*, 20 May 2020.
- [35] U.S. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), "Recommended Practices for Safety and Health Programs," [Online]. Available: <https://www.osha.gov/safety-management>.
- [36] U.S. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), "Directives - Regional LEP," [Online]. Available: <https://www.osha.gov/enforcement/directives/lep>. [Accessed 19 Oct 2023].
- [37] U.S. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), "Regional Emphasis Program for Poultry Processing Facilities [Region 4]," [Online]. Available: https://www.osha.gov/sites/default/files/enforcement/directives/CPL_23-09-CPL_04.pdf. [Accessed 19 Oct 2023].
- [38] Occupational Safety and Health Administration (OSHA), "CPL 04-05-2306 Regional Emphasis Program for Food Manufacturing Industry," 2023.

- [39] U.S. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), "Regional Emphasis Program for Poultry Processing Facilities [Region 6]," [Online]. Available: https://www.osha.gov/sites/default/files/enforcement/directives/CPL_2_02-02-030B.pdf. [Accessed 19 Oct 2023].
- [40] Center for Chemical Process Safety (CCPS), "Process Safety Glossary: Product Stewardship," [Online]. Available: <https://www.aiche.org/ccps/resources/glossary/process-safety-glossary/product-stewardship>. [Accessed 2 August 2023].
- [41] American Chemistry Council (ACC), "About ACC," [Online]. Available: <https://www.americanchemistry.com/about-acc>. [Accessed 23 April 2023].
- [42] American Chemistry Council (ACC), "Responsible Care®: Driving Safety & Industry Performance," [Online]. Available: <https://www.americanchemistry.com/chemistry-in-america/responsible-care-driving-safety-industry-performance>. [Accessed 23 April 2023].
- [43] American Chemistry Council (ACC), "Product Safety Code," [Online]. Available: <https://www.americanchemistry.com/chemistry-in-america/responsible-care-driving-safety-industry-performance/management-system-certification/product-safety-code>. [Accessed 23 April 2023].
- [44] American Chemistry Council, "American Chemistry Council | Responsible Care® | Product Safety Code of Management Practices," 8 June 2022. [Online]. Available: <https://www.americanchemistry.com/media/files/acc/chemistry-in-america/responsible-care-driving-safety-industry-performance/management-system-certification/files/responsible-care-product-safety-code>. [Accessed 23 April 2023].
- [45] Messer North America, Inc., "Responsible Care, A Commitment to Health, Safety and Security," [Online]. Available: https://www.messer-us.com/cs/c/?cta_guid=d30a9eae-0e83-4696-b814-ef52590e8431&signature=AAH58kFSeF-N-iZNlaLKAj1V3YMP7vfU2g&pageId=23835413904&placement_guid=6251434b-b9bc-46b9-b1fe-fa67977ff9cb&click=73bee1a7-5235-45e4-bf17-9d4e96e1d900&hsutk=7f85692fab6d.
- [46] Compressed Gas Association (CGA), "About Us," [Online]. Available: <https://www.cganet.com/about-us/>. [Accessed 1 August 2023].
- [47] Compressed Gas Association (CGA), *P-86 Guideline for Process Safety Management*, 1st ed., 2020.
- [48] Code of Federal Regulations Title 12, Volume 2, "Part 117 Subpart A Section 117.3 Definitions," 1 April 2020. [Online]. Available: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?fi=117.3>. [Accessed 17 March 2021].
- [49] Federal Trade Commission, "Linde AG and Praxair, Inc., In the Matter of," 22 November 2022. [Online]. Available: <https://www.ftc.gov/legal-library/browse/cases-proceedings/c4660-linde-ag-praxair-inc-matter>.
- [50] 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].
- [51] 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].
- [52] National Aeronautics and Space Administration (NASA), "Earth Fact Sheet," 25 November 2020. [Online]. Available: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html>. [Accessed 17 March 2021].
- [53] Center for Food Safety and Applied Nutrition, "Control of *Listeria monocytogenes* in Ready-To-Eat Foods; Guidance for Industry," U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, January 2017. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/files/food/published/Draft-Guidance-for-Industry--Control-of-Listeria-monocytogenes-in-Ready-To-Eat-Foods-%28PDF%29.pdf>. [Accessed 24 March 2021].
- [54] 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].
- [55] International Society of Automation (ISA), *ISA-TR84.00.07 Guidance on the Evaluation of Fire, Combustible Gas, and Toxic Gas System Effectiveness*, 2018.
- [56] U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB), "CSB Best Practice Guidance for Corporate Boards of Directors and Executives in the Offshore Oil and Gas Industry for Major Accident Prevention".

APÉNDICE A—ANÁLISIS CAUSAL SIMPLIFICADO (ACCIMAP)



APÉNDICE B—DESCRIPCIÓN DEL ÁREA CIRCUNDANTE

La **Figura 32** muestra los bloques censales que rodean inmediatamente el establecimiento de Foundation Food Group. La información censal de los bloques mostrados se presenta en la **Tabla 9**.^a

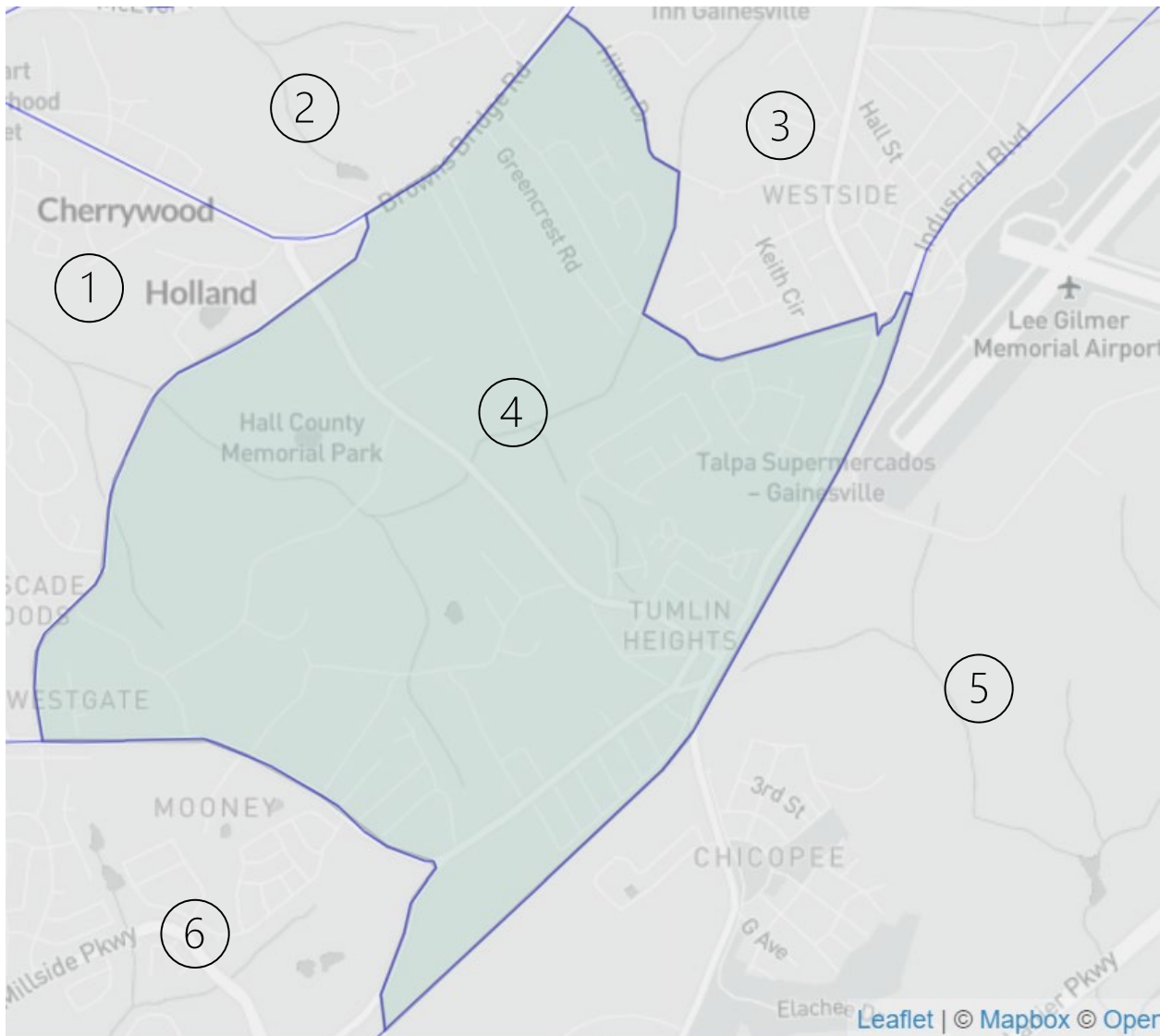


Figura 32. Bloques censales dentro de una distancia de aproximadamente una milla desde las instalaciones de FFG. (Crédito: Census Reporter, anotaciones de la CSB)

^aEsta información se compiló utilizando datos del censo de 2020 presentados por Census Reporter [50]. “Census Reporter es un proyecto independiente para facilitar el uso de los datos de la Encuesta sobre la Comunidad Estadounidense. [No está] afiliado a la Oficina del Censo de Estados Unidos. Una subvención News Challenge de la Fundación Knight financió la construcción inicial del sitio. ... La Iniciativa Google News proporcionó soporte para las funciones del Censo Decenal de 2020 [de Census Reporter]. ... [L]a Escuela de Periodismo Medill de la Universidad Northwestern, sede del Laboratorio Knight, [] brinda apoyo en especie para parte del desarrollo continuo de Census Reporter. La mayor parte de la infraestructura de alojamiento de servidores [de Census Reporter] es [] proporcionada por el Laboratorio de código abierto de la Universidad Estatal de Oregon” [51].

Tabla 9. Tabulación de datos demográficos para las poblaciones dentro de los bloques y sectores censales que se muestran en la Figura 32.

Número de zona	Población	Edad media	Raza y etnia		Ingreso per cápita	% por debajo del umbral de pobreza	Número de viviendas	Tipos de estructuras	
			%	Raza y etnia				%	Tipos de estructuras
1	5,546	29.5	29.0 %	Blancos	\$20,864	0.3 %	1,739	85 %	Una sola unidad
			5.0 %	Negros				14 %	Unidades múltiples
			0.0 %	Nativos				1 %	Casa móvil
			9.0 %	Asiáticos				0 %	Barco, RV, furgoneta, etc.
			0.0 %	Isleños				X	
			0.0 %	Otros					
			0.0 %	Dos o más					
			57.0 %	Hispanos					
2	2,134	23.6	18.0 %	Blancos	\$14,582	40.4 %	825	9 %	Una sola unidad
			20.0 %	Negros				88 %	Unidades múltiples
			0.0 %	Nativos				3 %	Casa móvil
			7.0 %	Asiáticos					Barco, RV, furgoneta, etc.
				Isleño				X	
				Otros					
			3.0 %	Dos o más					
53.0 %	Hispanos								
3	5,872	27.5	4 %	Blancos	\$11,519	41.4 %	1,412	61 %	Una sola unidad

Número de zona	Población	Edad media	Raza y etnia		Ingreso per cápita	% por debajo del umbral de pobreza	Número de viviendas	Tipos de estructuras	
			10 %	Negros				20 %	Unidades múltiples
			0 %	Nativos				19 %	Casa móvil
			0 %	Asiáticos				0 %	Barco, RV, furgoneta, etc.
			0 %	Isleños				X	
			0 %	Otros					
			2 %	Dos o más					
			84 %	Hispanos					
4	4,452	30.6	15 %	Blancos	\$23,731	24.9 %	1,161	77 %	Una sola unidad
			5 %	Negros				15 %	Unidades múltiples
			0 %	Nativos				7 %	Casa móvil
			5 %	Asiáticos				0 %	Barco, RV, furgoneta, etc.
			0 %	Isleños				X	
			0 %	Otros					
			1 %	Dos o más					
			73 %	Hispanos					
5	4,274	34.8	46 %	Blancos	\$27,575	14.1 %	1,175	79 %	Una sola unidad
			13 %	Negros				7 %	Unidades múltiples
			1 %	Nativos				14 %	Casa móvil

Número de zona	Población	Edad media	Raza y etnia		Ingreso per cápita	% por debajo del umbral de pobreza	Número de viviendas	Tipos de estructuras	
			4 %	Asiáticos				0 %	Barco, RV, furgoneta, etc.
			0 %	Isleños				X	
			0 %	Otros					
			1 %	Dos o más					
			33 %	Hispanos					
6	3,815	34.9	41 %	Blancos	\$36,881	9.1 %	1,339	86 %	Una sola unidad
			1 %	Negros				12 %	Unidades múltiples
			0 %	Nativos				2 %	Casa móvil
			7 %	Asiáticos				0 %	Barco, RV, furgoneta, etc.
			0 %	Isleños				X	
			0 %	Otros					
			5 %	Dos o más					
			41 %	Hispanos					

[Página dejada en blanco intencionalmente]



Comisión de Seguridad e Investigación de Peligros Químicos de los Estados Unidos

Miembros de la Comisión de Seguridad e Investigación de Peligros Químicos de los Estados Unidos:

Steve Owens
Presidente

Sylvia E. Johnson, Ph.D.
Miembro

Catherine J. K. Sandoval
Miembro