

Introducción

Aproximadamente a las 11:00 pm del 31 de mayo de 2017, una serie¹ de explosiones en las instalaciones de Didion Milling (Didion) en Cambria, Wisconsin, causaron la muerte de 5 trabajadores y 14 trabajadores más resultaron lesionados. Debido a que el evento ocurrió por la noche, solo 19 empleados estaban trabajando dentro de las instalaciones al momento del incidente.²

Poco antes de la (s) explosión (es) en Didion, los trabajadores vieron u olieron humo en el primer piso de uno de los edificios de la planta. Al tratar de encontrar la fuente, los trabajadores se concentraron en un equipo llamado molino triturador (gap mill).³ Al inspeccionar el equipo, los trabajadores observaron un filtro conectado a una línea de entrada de aire para la descarga del molino, lo que provocó que el polvo de maíz llenara el aire y que salieran llamas de la línea de entrada de aire, seguidas por una o más explosiones.

Después de la evaluación inicial de la CSB en el sitio, la agencia envió investigadores adicionales, ingenieros estructurales y de explosión con experiencia en explosiones de polvo y un equipo de drones para apoyar las investigaciones en el campo. La CSB y sus contratistas realizaron algunas visitas a varios de los edificios de la planta⁴ y realizaron observaciones a nivel del suelo y a diferentes alturas del daño de la explosión en un esfuerzo por determinar las causas del evento y la posible función instigadora del polvo (ver recuadro). Según la evidencia que la CSB recopiló de los patrones de daños estructurales en las instalaciones de la planta y de los informes de los empleados sobre el polvo de maíz y el fuego proveniente de la línea de entrada de aire del molino justo antes de la (s) explosión (es), la CSB considera que el incidente de Didion involucra una o más explosiones de polvo.

Este informe inicial de los hechos proporciona una explicación desde las diferentes perspectivas del evento del 31 de mayo, mediante relatos detallados de los trabajadores de Didion presentes en las instalaciones antes y durante el incidente. El análisis técnico

completo de la CSB sobre el incidente y su análisis del manejo del polvo en Didion se publicará una vez que se haya completado.

El proceso de molienda de maíz seco, como el que se usa en Didion, es inherentemente una operación productora de polvo. El polvo de maíz es combustible y se sabe que es capaz de generar sobrepresiones en las condiciones adecuadas.⁵ Los incendios de polvo, como todos los incendios, ocurren cuando el combustible (polvo combustible) se expone al calor (una fuente de ignición) en presencia de oxígeno (aire).⁶ Para convertirse en una explosión, un incendio de polvo requiere dos elementos adicionales: dispersión para crear una nube de polvo y confinamiento.⁷ La quema de una nube de polvo a la intemperie generalmente da como resultado un fogonazo y la generación de gases de combustión. Si ese mismo incendio queda confinado dentro de un edificio, recipiente o equipo, la expansión de los gases de combustión puede acumular presión hasta que el recinto explote y libere una onda de presión capaz de dañar edificios y causar serias lesiones a las personas.⁸

Las explosiones de polvo se clasifican típicamente como primarias o secundarias. Una explosión primaria o inicial puede desencadenar explosiones secundarias cuando el polvo y partículas finas combustibles que se han acumulado en los pisos u otras superficies se elevan hacia el aire,⁹ o cuando se arroja al aire desde un equipo dañado y hace ignición. Si se produce un volumen suficiente de polvo o partícula finas descargas secundarias, una explosión primaria relativamente débil puede desencadenar explosiones secundarias de polvo muy poderosas.

1 Los eventos que ocurrieron en Didion cumplen con la definición de explosión de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA), "explosión o ruptura de un recinto o contenedor debido al desarrollo de presión interna por deflagración", donde la deflagración es la "propagación" de una zona de combustión a una velocidad que es menor que la velocidad del sonido en el medio que no ha reaccionado". Según lo define la NFPA, las habitaciones y / o edificios son recintos cerrados. NFPA 61, *Norma para la Prevención de Incendios y Explosiones de Polvo en Instalaciones Agrícolas y de Procesamiento de Alimentos*, 2017, Sección 3.3 Definiciones generales.

2 Durante el día, más de 60 personas podrían haber estado trabajando adentro.

3 El equipo era un molino triturador (gap mill) que los empleados llamaban "South Bauermeister". "Bauermeister" se refiere al fabricante del molino triturador y "South" a su ubicación relativa a otro "gap mill" cercano que los empleados llamaron "North Bauermeister". Este molino tritura el maíz en pedazos más pequeños forzando a los pedazos a golpearse entre sí y con los componentes internos del molino, lo que hace que se rompan por un proceso conocido como molienda por impacto mecánico.

4 De los 9 edificios (Figura 1 y Figura 2) que componían las instalaciones de Didion, 4 se habían colapsado por completo y 5 sufrieron daños estructurales graves (Figura 3). La CSB y sus contratistas ingresaron a 4 de los edificios que permanecieron en pie, pero consideraron que el quinto edificio era demasiado inseguro para ingresar.

5 OSHA requiere que los fabricantes proporcionen hojas de datos de seguridad (Safety Data Sheet - SDS) para comunicar los riesgos de sus productos (29 CFR 1910.1200 (g)). Las SDS que Didion produjo para varios de sus productos, incluyendo el salvado de maíz, harina y sémola, identificaron que "las mezclas polvo-aire (de estos productos) pueden ser explosivas".

6 Gran parte de la información de fondo sobre incendios y explosiones de polvo se toma de la Junta de Investigación de Riesgos y Seguridad Química de los EE. UU., *Estudio del riesgo de polvo combustible*, 2006-H-1, noviembre de 2006, pp 11-16, <http://www.csb.gov/file.aspx?DocumentId=482> (consultado el 20 de diciembre de 2017).

7 Se requiere una cantidad mínima de polvo en el aire antes de que pueda ocurrir una explosión. Esta es una propiedad medida denominada concentración mínima de explosión (Minimum Explosion Concentration - MEC). Como se describe en la Norma 654 de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA), la MEC depende de muchos factores, incluida la distribución del tamaño del polvo, la química, el contenido de humedad y la forma de la partícula de polvo. NFPA 654, *Norma para la Prevención de Explosiones por Incendio y Polvo por la Fabricación, Procesamiento y Manejo de Sólidos Particulados Combustibles*, 2017, Parte A.3.3.19.

8 Junta de Investigación de Riesgos y Seguridad Química, *Estudio de riesgo de polvo combustible*, 2006-H-1, noviembre de 2006, págs. 11-16, <http://www.csb.gov/file.aspx?DocumentId=482> (visitado 24 de enero de 2018); NFPA 61, *Norma para la Prevención de Incendios y Explosiones de Polvo en Instalaciones Agrícolas y de Procesamiento de Alimentos*, 2017, Anexo A. Kaelin, D.; Prugh, R.; *Polvos Explosivos, códigos y normas americanas de prácticas de gestión de la seguridad*; Programa de la Seguridad en los Procesos 2006, vol. 25, No. 4, p 299.

9 La NFPA 652 clasifica un material combustible de acuerdo con los umbrales de tamaño: sólido particulado, polvo o finos. Un sólido particulado se refiere a partículas más grandes que representan un riesgo de incendio, pero es poco probable que den lugar a una deflagración (explosión). El polvo y los finos se refieren a partículas menores de 500 y 75 micras respectivamente, y cuando se suspenden pueden provocar una explosión. Debido a su pequeño tamaño, las partículas finas pueden permanecer suspendidas en el aire durante un periodo de tiempo más prolongado que las partículas de polvo, lo que representa un mayor riesgo de explosión. NFPA 652, *Norma sobre los Fundamentos del Polvo Combustible*, 2016, Parte A.3.3.7.

Consecuencias posteriores al incidente y disposición de la planta

Las operaciones de molienda en Didion comenzaron en 1991 con la construcción del molino A en el sitio. En el momento del incidente, la molienda se había expandido para incluir otros cuatro molinos: B, C, D y F (Figura 1). En apoyo a las operaciones de molienda, Didion construyó estructuras adicionales, incluyendo una sala de calderas, instalaciones de carga a granel de vagones y camiones, oficinas y otro edificio de usos múltiples que albergaba el molino C, equipos de empaquetado, oficinas, un laboratorio, un taller de mantenimiento, y la sala de control del molino¹⁰ (Figura 1 y Figura 2).¹¹

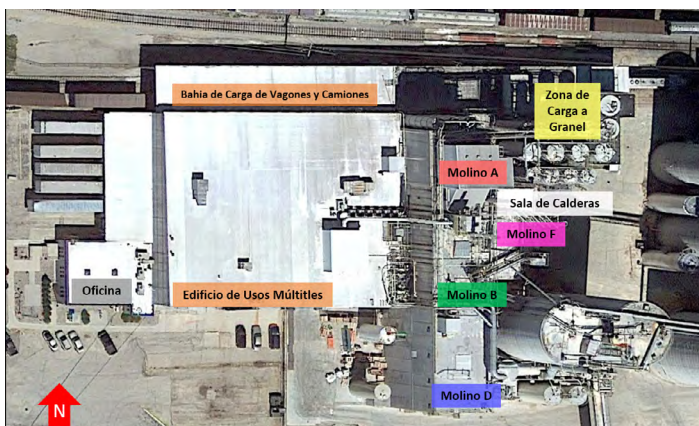


Figura 1. Vista aérea previa al incidente del molino de maíz de Didion.¹² Cada edificio ha sido resaltado con un color.

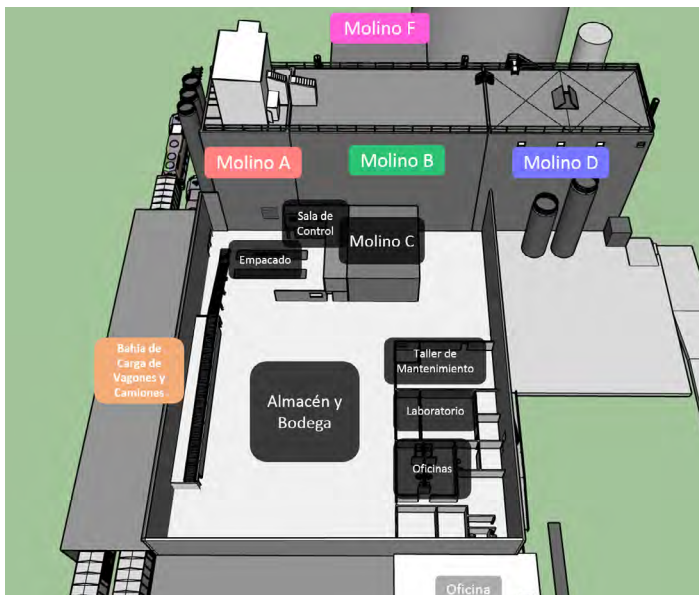


Figura 2. Vista interna del edificio de usos múltiples que albergaba el molino C, los equipos de empaquetado, las oficinas, un laboratorio, un taller de mantenimiento y la sala de control de la fábrica.

¹⁰ La sala de control de la fábrica albergaba el sistema informático que controlaba las operaciones de la fábrica. También se le conocía como la "oficina del molino"

¹¹ En este Informe de los hechos, se hace referencia a las ubicaciones en los edificios de los molinos utilizando el nivel del suelo y las ubicaciones de los edificios de la planta. Por ejemplo, el primer piso en el molino B se representa como 1B.

¹² Cambria, WI. 43.53838 -89.10212. Google Earth. 2018.

La(s) explosión(es) causó (aron) el colapso total del edificio multiuso, el molino, F y la sala de calderas, y dañaron severamente otros tres edificios (molino A, molino B y molino D), la zona de carga a granel y la oficina principal. La figura 3 muestra la gravedad del daño que sufrieron varios edificios posterior al incidente y las ubicaciones aproximadas de los trabajadores dentro de las instalaciones de Didion en el momento del incidente. Las Figuras 4 y 5 muestran comparaciones previas y posteriores al incidente de las instalaciones de Didion desde diferentes perspectivas.

Cinco trabajadores murieron como resultado de la(s) explosión(es) y el colapso de los edificios. Tres trabajadores murieron en la escena, y otros dos sucumbieron a sus heridas en los días siguientes. Los otros 14 trabajadores en turno esa noche sufrieron lesiones físicas que variaron entre lesiones menores y graves (amenaza a la vida). Varios de los heridos sufrieron una combinación de lesiones musculares y esqueléticas, mientras que otros sufrieron quemaduras térmicas y un empleado sufrió amputación.



Figura 3. Esta imagen muestra las ubicaciones aproximadas de los trabajadores dentro de las instalaciones de Didion en el momento del incidente. Los círculos representan a los trabajadores que sufrieron lesiones fatales y los pentágonos representan a los trabajadores lesionados. Los contornos punteados de color rojo indican los edificios que se colapsaron por completo o que fueron severamente dañados por las explosiones el 31 de mayo de 2017. Los contornos amarillos indican edificios a los que pudieron ingresar los investigadores, pero sufrieron daños severos.



Figura 4. Las fotografías previas (superior) y posterior al incidente (parte inferior) del lado oeste de las instalaciones de Didion.¹³



Figura 5. Vista del costado este de la instalación de Didion antes del incidente tomada a finales de 2010 (arriba) y posterior al incidente (abajo) que muestra el colapso completo del molino F y la sala de calderas. La fotografía anterior al incidente muestra la instalación antes de que se agregaran el molino D o las bahías de carga a granel expandidas.

¹³ Una persona proporcionó la imagen superior a la CSB, indicando que provenía de una publicación de Facebook.

Descripción general de Didion Milling

Didion opera: una instalación de molienda de maíz seco y una planta de producción de etanol en Cambria, Wisconsin; una instalación de molienda de soja y oficinas corporativas en Johnson Creek, Wisconsin; y una planta de empackado en Markesan, Wisconsin. Si bien se encuentran separadas por una carretera, las instalaciones de molienda de maíz y la planta de etanol se conectan mediante una banda transportadora, y se envían lotes de maíz a la planta de etanol para su posterior procesamiento en un producto separado.

El proceso de molienda de maíz seco es un sistema de equipos que limpia, tritura, separa y transporta sólidos a granel para producir una variedad de productos de maíz (ver Apéndice A: Descripción simplificada del flujo del proceso para más detalles). El objetivo del molido de maíz seco es separar un grano de maíz en tres componentes distintos: salvado, germen y endospermo¹⁴ (Figura 6) - y reducir su tamaño antes del envío cuando un cliente lo requiera.¹⁵ El salvado de maíz es una fuente de fibra que se puede agregar a los cereales, panes, bebidas u otros productos alimenticios. El germen contiene el mayor porcentaje de aceite de maíz. El endospermo crea una variedad de productos que varían en tamaño de partícula desde granos de maíz más grandes hasta harina refinada y harina integral de menor tamaño.

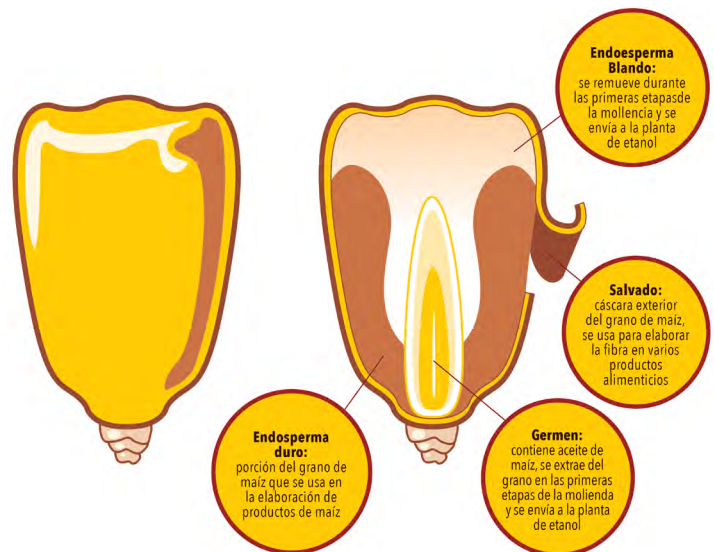


Figura 6. Tres partes principales de maíz. (Modificado de la Asociación de Refinadores de Maíz)

La planta de maíz de Didion estaba normalmente programada para operar en dos turnos de 12 horas, de 6 AM a 6 PM, los 365 días del año,¹⁶ con las tareas de los trabajadores clasificadas dentro de las

¹⁴ El endosperma se puede clasificar como endosperma blando y endosperma duro. El endosperma blando se envía a la planta de etanol mientras que el endosperma duro se convierte en otros productos de maíz.
¹⁵ Cabe señalar que si Didion procesara maíz de grano entero, molería el grano entero de maíz. No se haría ningún esfuerzo para separar los diferentes componentes.
¹⁶ Didion también tenía paradas rutinarias programadas para mantenimiento, limpieza y fumigación.

categorías que se describen en la Tabla 1. Los diversos grupos de trabajo (superintendentes, molineros, empacadores, cargadores, técnicos de laboratorio y técnicos de mantenimiento) generalmente participaban en reuniones diarias de cambio de turno para obtener un informe de estado del turno de salida. Cada grupo llevó a cabo su propia reunión de cambio de turno, y luego el superintendente coordinaría las actividades entre los grupos durante el turno.

Tabla 1. Cargos y descripciones básicas para las operaciones de molienda de maíz en Didion. Para todos los otros cargos, se podría también asignar tareas adicionales que no se identifican en esta tabla según existiera la necesidad.[†]

Nombre del cargo	Descripción del cargo	No. en servicio la noche del 31 de mayo de 2017
Superintendente	Coordinaba las actividades de trabajo y los recursos necesarios para la molienda, el empaqueo y la carga de productos.	1
Molinero	Configuraba, operaba, monitoreaba y diagnosticaba el equipo de molienda; verificaba y mantenía las especificaciones del producto; y limpiaba los edificios de la planta.	3
Empacador	Operaba el equipo de empaqueo del producto que incluía el llenado y sellado de bolsas de productos, la carga de bolsas en vagones y la limpieza del almacén u otras áreas en el molino.	6
Cargador	Inspeccionaba, cargaba y descargaba los camiones y vagones neumáticos a granel utilizados para transportar productos.	4
Operador de montacargas	Inspeccionaba, cargaba y descargaba los camiones utilizados para transportar productos y organizaba el almacén.	1
Técnico de laboratorio	Realizaba las pruebas de laboratorio cualitativas y cuantitativas.	2
Técnico de mantenimiento	Realizaba las actividades de mantenimiento preventivo y no planeado para disminuir la probabilidad de fallos en los equipos.	2
Total de empleados en servicio		19

[†]Uno de los empacadores, técnicos de mantenimiento y cargadores eran designados como "Líder de equipo". En general, tenían la misma descripción de cargo que los demás, pero además tenían algunos deberes adicionales de supervisión. Las categorías se pueden dividir en títulos de trabajo más específicos, pero solo se mencionarán de forma general en este Informe.

Descripción del incidente

De los 14 sobrevivientes, la CSB habló con 10. La siguiente descripción del incidente representa sus perspectivas inmediatamente antes y durante el incidente.¹⁷ Cada narración en esta sección describe el evento desde el comienzo y lleva al lector a través del incidente. Debido a que no fue posible adjuntar marcas de tiempo a varias actividades, estas se deben ver cronológicamente según se muestra en la Figura 7.¹⁸

Surgieron varios temas consistentes:

1. Los trabajadores creían que las condiciones en la fábrica la noche del incidente eran "normales", y hasta momentos antes de la explosión (o explosiones), los trabajadores no tenían conocimiento de ningún problema o asumían que sus esfuerzos de resolución de problemas revelarían una situación típica y manejable.
2. Aproximadamente, 15 a 30 minutos antes de la explosión, los trabajadores olieron vieron y / o vieron humo en la 1B.
3. Justo antes del incidente, el personal caminaba alrededor de los diferentes niveles en los Molinos A y B, y nadie observó ningún otro problema más allá del olor a humo.
4. Al tratar de encontrar la fuente del humo, las observaciones llevaron a los trabajadores a centrarse en un molino triturador (gap mill)¹⁹ en la 1B que formaba parte del sistema de salvado.
5. Después de inspeccionar el molino triturador, los trabajadores observaron como explotaba un filtro de aire de la línea de entrada de aire del molino, lanzando al aire productos de maíz y llamas desde el interior del equipo, seguidas por explosiones múltiples en toda la planta de molienda.

¹⁷ Después de entrevistar a estos individuos, surgieron variaciones entre sus narrativas. Sus perspectivas proporcionan el contexto de la realidad que cada uno de ellos enfrentó en ese momento, y ninguna declaración individual se juzga después del incidente como más precisa que otra. Además, muchas de las personas expresaron su preocupación de que no podían recordar exactamente lo que sucedió, lo cual es bastante común en las personas que han pasado por un evento traumático, como el que se experimentó en Didion.

¹⁸ Cinco individuos sufrieron lesiones fatales y los otros cuatro no respondieron a las solicitudes de entrevistas de la CSB. Se debe tener en cuenta entonces que puede haber otros detalles faltantes en las narrativas que aquí se presentan.

¹⁹ Los molinos (gap mills) trituran el maíz en pedazos más pequeños forzando a los pedazos a golpearse entre sí y con los componentes internos del molino, lo que hace que se rompan por un proceso conocido como molienda por impacto mecánico.

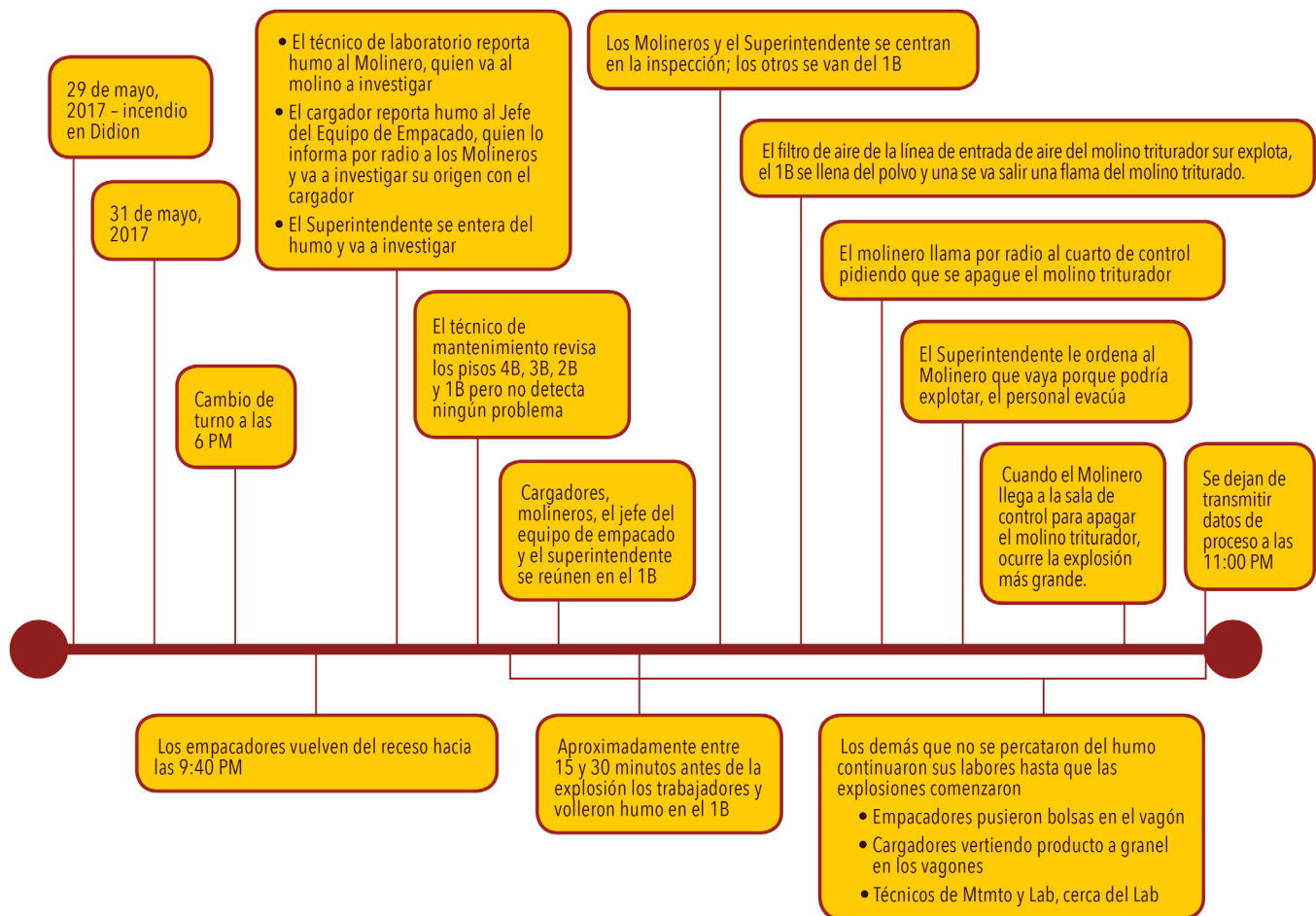


Figura 7. Cronología de actividades seleccionadas previas al incidente. Los datos de la computadora de la noche del incidente indican que el descanso de los empacadores probablemente terminó alrededor de las 9:40 PM y que la explosión ocurrió a las 11:00 PM cuando las transmisiones de datos en el molino finalizó. No fue posible adjuntar marcas de tiempo a las diversas actividades, por lo que se muestran cronológicamente aquí.

Perspectiva de los Empacadores

Los empacadores se preparaban para comenzar a empacar el siguiente producto programado después de un descanso cuando un cargador llamó al líder del equipo de empacadores²⁰ por la radio y le dijo que había visto humo saliendo de una puerta que llevaba a la 1B,²¹ sin embargo, otro empacador que escuchó esta transmisión de radio recordó al cargador diciendo que olía el humo, en lugar de verlo. El líder del equipo de empacadores le dijo al cargador que les informaría a los molineros sobre el humo, y luego fue a investigar su origen con él. No encontraron humo, pero vieron que el superintendente y otro molinero también estaban buscando el origen del humo. Suponiendo que lo tenían bajo control, el líder del equipo de empacadores regresó a la sala de control para trabajar en un informe de producción. Cuando el líder del grupo de empacadores llegó a la sala de control, otro empacadores y molinero también estaban presentes.

²⁰ El líder del equipo de empacadores ayudó con los deberes regulares del empacador, pero también tenía responsabilidades de supervisor adicionales, como encender los sistemas de empacado, monitorearlos y ayudar a comunicar las necesidades de producción a los otros empacadores.

²¹ El turno de la noche había terminado con el empacado de harina de maíz pregelatinizada, que es un agente aglutinante utilizado en productos alimenticios como cereales, bocadillos o pastas.

Se usaron tres canales de radio en la planta. Los molineros, personal de mantenimiento y los técnicos de laboratorio estaban en el mismo canal, mientras que los empacadores y los cargadores tenían cada uno su propio canal. Los dos empacadores en la sala de control escucharon una llamada de radio del molinero en la 1B al molinero en la sala de control indicando que se había encontrado la fuente del incendio, pero que no había humo. Luego escucharon una solicitud para que el molinero, en la sala de control, apagara un molino triturador (gap mill). Al momento en el que el molinero usó el sistema informático para apagarlo, ocurrió la explosión. La hora fue justo después de las 11:00 PM.

Una onda expansiva de la explosión empujó a los empacadores y al molinero en la sala de control hacia el almacén. Los empacadores no vieron ningún incendio, pero el aire y los pequeños trozos de concreto que los golpeaban estaban calientes. Uno de los empacadores recuerda haber sentido que el aire lo golpeaba dos veces, uno tras otro. Luego, él y las demás personas en la sala de control intentaron salir, teniendo que forzar la puerta de la escalera

que conducía al almacén. Desde allí, escaparon caminando sobre el techo del almacén que se había derrumbado.

Otros dos empacadores habían estado cargando bolsas de productos en un vagón en el lado norte del almacén en la bahía de carga de vagones del almacén. (Figura 1). No tenían radios y no estaban al tanto de las conversaciones sobre el humo en el molino. Uno de estos empacadores señaló que antes de la explosión, era una "noche realmente tranquila, muy tranquila".

Uno de los empacadores recordó haber escuchado una "gran, gran explosión" y cuando se giró para preguntarle al otro empacador sobre el ruido, este fue empujado por los aires. El empacador se despertó en el suelo en un área similar a un túnel que se había creado cuando el techo se había derrumbado sobre el vagón. Después de recuperar la conciencia, escuchó otra gran explosión. Vio al otro empacador con el que había estado trabajando atrapado debajo del vagón que habían estado llenando. Se quedó con este empacador y gritó para pedir ayuda hasta que otros llegaron para rescatarlo.

Perspectiva de los molineros

Tres molineros trabajaban en el turno de esa noche. Dividieron las responsabilidades para que uno (molinero A)²² tomara la iniciativa de caminar por la fábrica y asegurarse de que el equipo funcionara sin residuos de producto u otros problemas. Otro (molinero B) supervisó y limpió las dos primeras plantas, lo que incluyó tomar muestras de productos y medir las tasas de producción²³ cada dos horas.²⁴ El tercero (molinero C) se centró en los pisos superiores y los contenedores de almacenamiento de productos.²⁵ Sus responsabilidades también incluían tomar muestras de productos cada dos horas y limpiar los pisos superiores.²⁶

Aproximadamente a las 10:30 PM, cuando algunos de los molineros volvían de un descanso, el molinero C se estaba preparando para un cambio de producto en una de las líneas. El molinero C recolectó sus muestras programadas, cambió manualmente una bandeja de alimentación,²⁷ y regresaba a la sala de control cuando escuchó a alguien decir por radio que había vapor o humo saliendo de la 1B.

El molinero B también recordó haber recibido una llamada de radio justo después del descanso de alguien que decía que olía a humo en el molino. Luego, uno de los técnicos de laboratorio ingresó a la

sala de control y le dijo al molinero B que olía a humo. El molinero B verificó las computadoras para ver si había una alarma, si algún equipo se había apagado, o si había indicios de algún otro problema, pero no encontró nada.

El molinero B procedió a verificar el segundo piso de los molinos A, B y D (2A, 2B y 2D). Primero fue al 2B, y aunque podía oler el humo, no podía ver de dónde venía. Pensó que el humo olía diferente a la quema de productos de maíz, olía más como una correa o algún rodamiento que se estaba quemando.²⁸ El molinero B luego se fue al primer piso del molino A, pero no vio ni olió humo. Desde allí, caminó a una sala en la 1B (habitación gris, Figura 8) e inspeccionó varios equipos buscando correas quemadas o cualquier otro problemas pero no encontró nada.

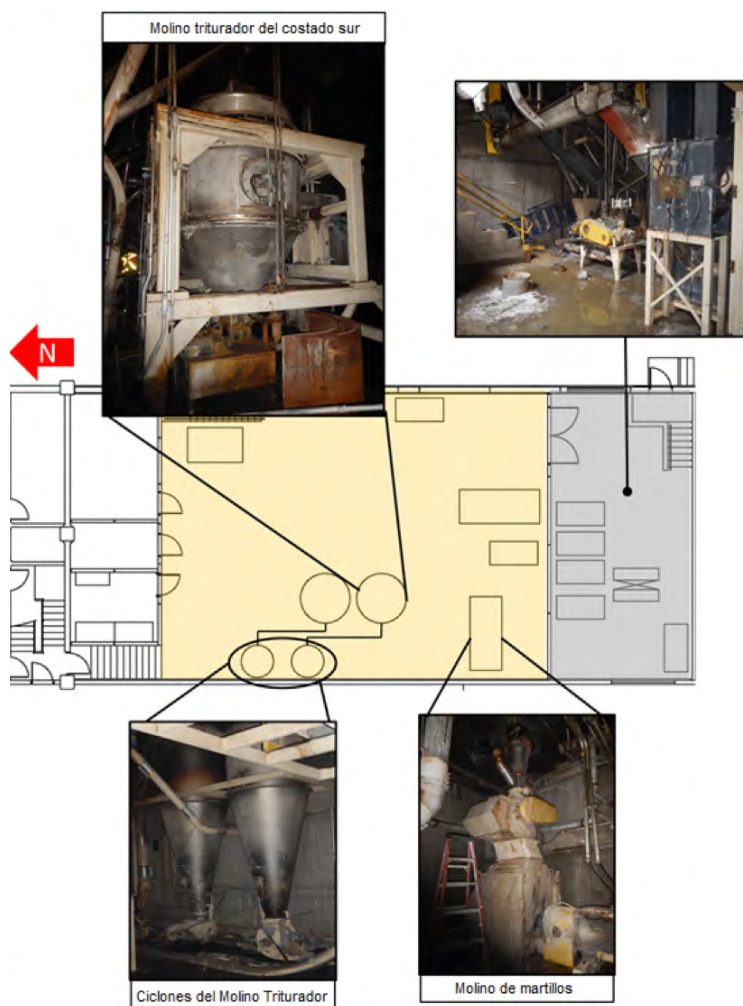


Figura 8. Diseño parcial del equipo y fotos en la 1B que identifican y denotan las ubicaciones del molino triturador (gap mill) sur y un ciclón conectado al flujo de salida del producto del molino triturador (gap mill) (ver Figura 10 y nota al pie 29 para mayor explicación), un molino de martillos y una habitación (gris) que contiene varios equipos que el molinero B inspeccionó para detectar las correas quemadas u otros problemas.

22 El molinero A resultó herido de fatalidad como resultado del incidente.

23 Las tasas de producción también se conocen como "pesos de verificación", que se informan en libras por hora y se basan en la tasa de flujo de producto actual medida en segundos.

24 Esto incluyó A1, B1, A2, B2 y C2.

25 Los contenedores son silos de almacenamiento de concreto utilizados para contener maíz crudo y productos terminados. También se usan en Didion como lugares de espera temporales para permitir cambios de productos.

26 Esto incluía 4A - 6A, 3B y 4B.

27 El molinero estaba cambiando de la bandeja de almacenamiento del producto 18 a la bandeja de almacenamiento del producto 1, que tenían granos de maíz.

28 Las correas de goma se utilizan en equipos para transferir energía de un motor al equipo. Si el equipo deja de girar y el motor no se apaga, la correa de goma puede calentarse y comenzar a arder.

El molinero B regresaba al segundo piso cuando notó una pequeña cantidad de humo en otra habitación en la 1B (habitación amarilla, Figura 8), pero no podía ver de dónde provenía. Él y otro compañero de trabajo que había venido a buscar la fuente de humo revisaron un molino de martillos y concluyeron que estaba funcionando bien (Figura 8). También confirmaron visualmente que el producto fluía bien a través de un molino triturador (gap mill) cercano (Figura 8) inspeccionando una mirilla en un ciclón conectado a al flujo de salida del producto del molino (Figura 9).²⁹



Figura 9. El ciclón resaltado aquí está conectado al molino triturador del lado sur (Figura 8). Una mirilla en la parte inferior del ciclón permite a los trabajadores ver si el producto está fluyendo.

Sin embargo, el molinero B observó una mezcla que parecía polvo o humo expulsado del área cerca de la entrada de producto del molino triturador (gap mill) (Figura 10). El molino triturador (gap mill) se diseñó para que el producto cayera a través del molino y saliera por la parte inferior,³⁰ por lo que cuando esto sucedió, el molinero B no pudo entender por qué el producto fluía en la dirección incorrecta (Figura 10). El molinero B llamó por radio para solicitar que el molinero C apagara el molino sur usando el sistema informático en la sala de control,³¹ pero segundos después de la conversación, se escuchó un fuerte ruido y salió más humo y polvo cerca del área del molino triturador (gap mill). En este punto, el superintendente le dijo que podría explotar y que deberían correr. El molinero B luego salió rápidamente de la 1B para dirigirse a la sala de control en el segundo piso, pero mientras estaba en las escaleras entre el primer y el segundo piso, hubo una explosión y una gran cantidad de polvo llenó el aire a su alrededor.

²⁹ La mirilla era un anillo de plástico transparente ubicado en la parte inferior del ciclón conectado a la salida del molino de sur. Un ciclón está diseñado para separar el producto de la corriente de aire que sale de un equipo. El producto recogido se descarga por la parte inferior del ciclón y el aire a través del escape superior.

³⁰ Una línea de transferencia neumática negativa dirige luego el producto a los ciclones.

³¹ El molinero A, que estaba tratando de apagar el molino triturador (gap mill), manifestó a la CSB que la explosión ocurrió justo cuando él estaba a punto de tomar el mouse del computador para realizar el procedimiento.

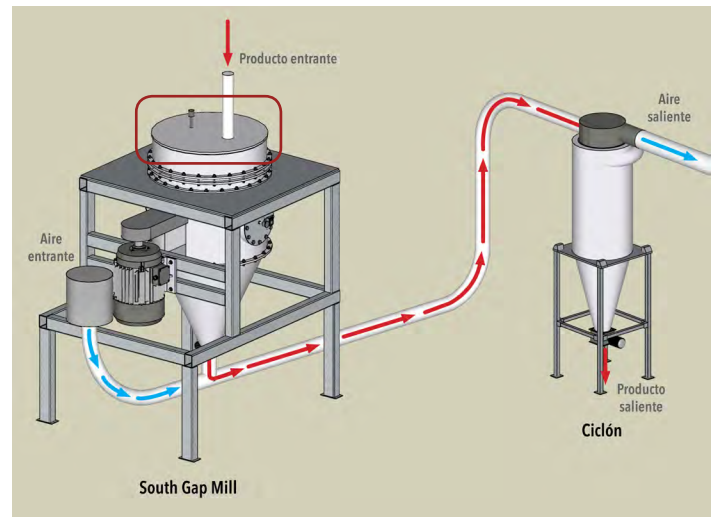


Figura 10. Diagrama del molino triturador (gap mill) del costado sur. El molinero B observó una mezcla que parecía polvo o humo que salía cerca de la parte superior del molino (caja roja). El diseño de esta planta utiliza un ventilador de extracción para extraer aire a través del filtro de entrada (flechas azules, izquierda), producto del fondo del molino (flechas rojas) a través de un ciclón donde el producto cae al fondo del mismo, y el el aire que contiene polvo fino de maíz (flecha azul, derecha) continúa desde la parte superior hacia un sistema de recolección de polvo.

Buscando un escape, el molinero B abrió la puerta al 2B, pero la visibilidad era baja debido al polvo y / o humo. Vio un montón de llamas en la 2B, por lo que dio media vuelta y trató de llegar a la sala de control. Al volverse, oyó una explosión más fuerte y anotó "aquí es cuando todo sucedió". Sintió el fuego viniendo de la 1B hacia él por las escaleras y "todo" comenzó a explotar.

Perspectiva del Superintendente

El Superintendente había estado trabajando en la Oficina del Superintendente³² cuando decidió realizar un recorrido por la planta. Se dirigió a la sala de control donde escuchó a personas hablando en español por la radio, y se le transmitió que alguien había visto u olido humo en la planta; él no habla español. Según su experiencia anterior, lo peor que había visto cuando alguien informaba que había humo en el molino era una correa o un motor en llamas.

Había dos puertas de acceso a la sala de control, una a través del molino y la otra a través del almacén. Para verificar si había humo afuera, el Superintendente caminó a través del almacén y alrededor del extremo sur del molino D hacia el lado este del molino B, donde ingresó al 1B a través de las escaleras al lado de una puerta de metal (Figura 11). No encontró humo afuera, pero tan pronto como abrió la puerta de la 1B, vio un humo ligero persistente en el techo. El olor no le era familiar, así que comenzó a preocuparse.

³² La Oficina del Superintendente estaba ubicada cerca del laboratorio.

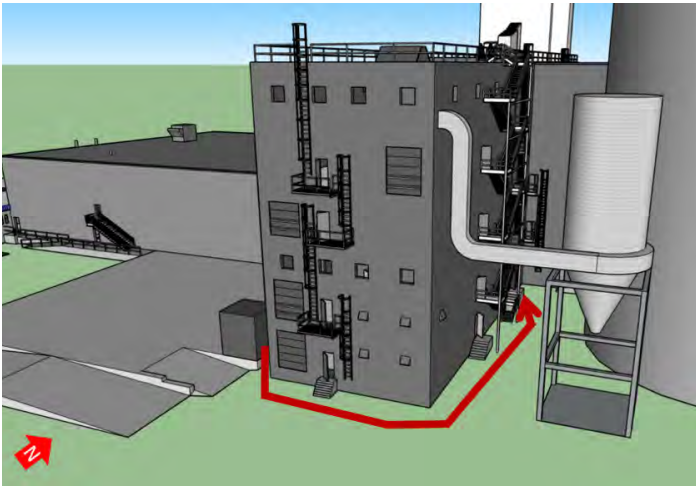


Figura 11. El Superintendente caminó (flechas rojas) por el lado sur del Molino D y entró en la 1B a través de una puerta al lado este.

Al entrar en la 1B, vio que un cargador entraba desde la zona de carga a granel y un empacador con los molineros A y B ingresaban desde el molino. Todos comenzaron a inspeccionar el área, verificar el equipo y buscar la fuente del humo, pero no pudieron encontrar nada. El superintendente recuerda que el molinero A dijo que creía que el molino sur se sentía un poco más caliente que el molino norte de la sala,³³ e hizo una señal al superintendente para que el mismo lo verificara. El superintendente estuvo de acuerdo, pero no estaba preocupado; creía que si algo ardía en el molino de acero del lado sur, estaría “caliente al tacto”, pero este no era el caso.

Todos los demás salieron de la habitación mientras el superintendente y el molinero B continuaban inspeccionando y no encontraban problemas con otros equipos en la 1B. De repente, el superintendente escuchó una “gran explosión” y luego un estruendo constante. Cuando miró hacia el sonido, vio el filtro de la línea de entrada de aire del molino de aire sur volando por los aires y una llama de tres a cuatro pies saliendo de la misma línea (Figura 12).³⁴ Basado en lo que vio, el Superintendente pensó que la explosión inicial podría haber eliminado el polvo de las tuberías horizontales que corrían a lo largo del techo, que comenzó a empañarse (Figura 13). La llama fue visible durante cuatro o cinco segundos, y luego volvió a aspirarse. Unos cinco segundos más tarde, la llama volvió a dispararse.

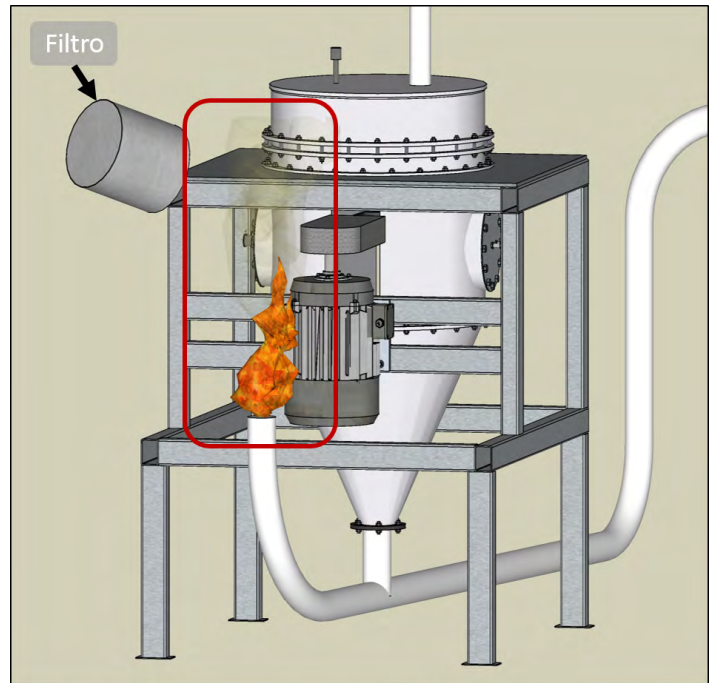


Figura 12. El superintendente vio el filtro de la línea de entrada de aire del molino sur volando por los aires y una llama de tres a cuatro pies saliendo de la misma línea (caja roja, imagen superior). La dirección del flujo de las llamas iba en la dirección contraria al flujo normal de aire en el molino triturador (gap mill) (ver Figura 10).



Figura 13. Ejemplo de superficies horizontales superiores en la 1B cerca del molino triturador (gap mill).

³³ Norte y sur se refieren a la orientación relativa de los dos molinos de separación entre sí.

³⁴ Después del incidente, la CSB observó que el filtro del molino de separación sur no se encontraba en la línea de succión de entrada.



Figura 14. Imagen tomada por un trabajador de Didion del incendio del 29 de mayo de 2017. La estructura en el techo del edificio emanando humo es un colector de polvo.

Dos días antes del incidente, Didion había presentado un incendio en una secadora, que es parte de su sistema "Expander 5" dentro del Molino C. El equipo se dañó como resultado del incendio, pero nadie resultó herido. Llamaron al departamento de bomberos y la planta fue evacuada después de que los trabajadores se dieron cuenta que no podrían extinguir el fuego por sí mismos. El fuego avanzó hasta un colector de polvo en el techo del Molino B (Figura 14), que el departamento de bomberos eventualmente apagó con la ayuda de un camión de escalera. La línea del Expansor 5 permaneció apagada después; Didion estaba investigando activamente la causa de aquel incendio cuando ocurrió el incidente del 31 de mayo de 2017.

En este punto, el superintendente escuchó al molinero B hablando por la radio en español. Pensó que el molinero B estaba intentando conseguir a alguien que apagara el ventilador de extracción del ciclón, pero temía que esto tomara demasiado tiempo porque el ventilador necesitaría tiempo para detenerse, y creía que todavía habría succión y fuego durante todo ese tiempo. El superintendente manifestó a la CSB que debido a un incendio que había ocurrido el lunes anterior (ver recuadro de llamada), imaginó que las llamas viajaban a uno de los colectores de polvo más grandes en el molino, y eso hizo que quisiera dejar la sala en lugar de intentar extinguir el fuego. Gritó para que todos salieran de la habitación, y el molinero B le devolvió la señal en reconocimiento. No trataron de apagar la fuego y abandonaron de la misma forma en que entraron (Figura 15).

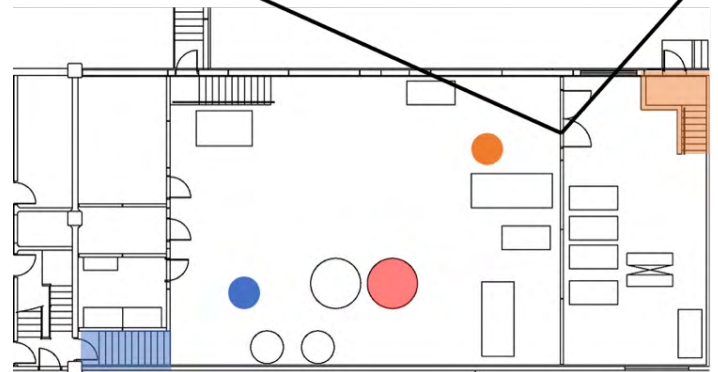


Figura 15. Después de que las llamas salieron de la línea de entrada de aire al molino sur (círculo rojo), el superintendente (círculo naranja) salió de la sala a través de la escalera en la esquina sureste del edificio (naranja) que conducía al exterior. El molinero B (círculo azul) evacuó la habitación usando la escalera que conduce a la sala de control (azul). La fotografía muestra una estructura colapsada sobre la escalera que el Superintendente usó para salir de la 1B.

Cuando el Superintendente dejó la 1B, todavía podía escuchar que continuaban hablando por la radio en español. Se sentía frustrado porque no podía interrumpir la conversación de radio para decirle a la gente que evacuara. Justo cuando salía, el canal de radio quedó libre e intentó hacer la comunicación, pero en ese momento, ocurrió una gran explosión. El Superintendente corrió, y cuando pasó bajo el

filtro de grano seco (Figura 16),³⁵ otra explosión ocurrió sobre él y lo derribó al suelo. El superintendente describió la situación caótica:

“Sabes, el edificio, mientras yo corría, estaba mirando detrás de mí y todo el edificio estaba..., había bolas de fuego y esas cosas. Simplemente siguió explotando. Solo sonaba como un trueno, como un trueno constante. Y vi explosiones con concreto y cosas volando por los aires. Yo solo pensé que era el único que había logrado salir. Pensé que todo el lugar estaba destruido, ya sabes”.



Figura 16. Lado sur del Molino D. A medida que el superintendente (punto naranja) estaba evacuando el molino, corrió bajo el filtro de grano seco (caja roja) cuando una explosión lo derribó.

Corrió a un estacionamiento. Mientras hablaba con uno de los camioneros allí, se produjo otra explosión, y vio una bola de fuego que, según estimó, tenía más de 30 metros de altura y provenía del área cercana a la sala de control.

Perspectiva de los técnico de mantenimiento y de laboratorio

Poco antes de la primera explosión, los técnicos de mantenimiento y de laboratorio habían recorrido varias áreas de los molinos A y B y no recordaban haber visto nada inusual. Dos técnicos de mantenimiento (técnico A y técnico B) estaban trabajando y uno de ellos, el técnico A, había estado en los ventiladores de engrase de la 4B. En su anterior cargo de molinero, adquirió el hábito de revisar todas los pisos en su camino, lo que hizo mientras caminaba hacia la oficina de mantenimiento en el almacén. Él no notó ningún problema y no vio a los otros trabajadores revisando el molino triturador

(gap mill) sur en la 1B. Alrededor de la misma hora, un técnico de laboratorio caminó a través del almacén hasta el empaque para recoger muestras de las dos líneas de empaque. Luego firmó algunos documentos en la sala de control antes de regresar al laboratorio. El técnico de laboratorio no notó nada inusual durante este desplazamiento.

Cuando el técnico A regresó a la oficina de mantenimiento, vio al técnico B hablando con el técnico de laboratorio en el laboratorio y se detuvo para conversar brevemente con ellos.³⁶ Luego, regresó a la oficina, y justo cuando se sentó, ocurrió una explosión. Los técnicos de mantenimiento no recuerdan haber escuchado una discusión sobre ningún problema en la radio, aunque el técnico de laboratorio recordó haber escuchado a alguien solicitar el apagado de un equipo justo antes de la explosión. Después de la explosión, el técnico A quedó atrapado en su silla por el concreto que había caído a su alrededor. Pudo mover un poco del material suelto y creó un espacio para salir gateando. Finalmente, vio la luz del teléfono celular de uno de los técnicos de laboratorio y se dirigió hacia el laboratorio.

En ese momento, el técnico B salió del laboratorio a través de una pequeña abertura. Por la radio este le comunicó al equipo que había quedado en el laboratorio que su mejor opción era ir hacia el oeste, por lo que el grupo se abrió paso por el tejado caído del almacén. Un policía ayudó a traer una escalera para que el grupo pudiera bajar desde la parte superior de un remolque que había sido estacionado cerca del almacén.

El técnico A no recordó haber escuchado una explosión, pero sí sintió y escuchó un aire caliente corriendo a su alrededor. Después de reunirse con los técnicos de laboratorio, escuchó una explosión y vio que las llamas llegaban a la parte superior del molino. El técnico de laboratorio, sin embargo, recordó haber escuchado una gran explosión y luego sintió que todo comenzaba a temblar y que el material caía a su alrededor, pero el técnico B, que había estado en el laboratorio con ella, no recordaba haber escuchado una explosión. En cambio, el describió un estruendo antes de que el concreto y el polvo cayeran y lo rodearan.

Después de escapar de los escombros del almacén, el técnico B se encontró con un empleado que había escuchado la explosión desde su casa³⁷ y regresó a la planta para ayudar. Escucharon a dos empacadores gritando pidiendo ayuda porque uno de ellos había sido atrapado por un vagón en la bahía de carga del almacén. Con la ayuda de un cargador, el técnico B movió uno de los vagones para que los bomberos pudieran llevar agua a un área del molino

³⁶ Los técnicos de laboratorio estaban teniendo un problema con un detector de metales, y el Técnico B les estaba hablando al respecto.

³⁷ Este individuo declaró que vivía en Cambria, que está aproximadamente a 0.4 millas de Didion Milling.

³⁵ El filtro de grano seco era uno de varios colectores de polvo en Didion.

que estaba ardiendo cerca de donde estaba atrapado el empacador. Mientras estaba cerca de los vagones, oyó otra explosión en el área indicada en Figura 17. Después de mover el vagón, apagó la línea de gas principal.



Figura 17. Ubicación aproximada (estrella dorada) de una explosión después del colapso de los edificios de la planta.

Perspectiva del Cargador

Los cargadores se estaban preparando para llenar un vagón en carga a granel cuando ocurrió una explosión. Uno de los cargadores estaba en la locomotora mirando hacia el este por encima del vagón, mientras que al menos otro cargador estaba sobre el vagón para poder dirigir fuera necesario moverlo. Luego, con "el chasquido de los dedos", un estallido corto y fuerte sacudió la vagoneta. El cargador de la locomotora vio una nube de humo y llamas en el extremo oeste del túnel ferroviario y su cabina se llenó de humo (Figura 18). Salió del vagón y se dirigió al frente de las bahías cuando otros dos cargadores salieron hacia él con quemaduras. Intentaron encontrar a otro de los cargadores que había sido visto por última vez cargando un remolque en la bahía central cuando este salió con la mayor parte de su ropa quemada.³⁸ Sabían que estaba gravemente herido, así que caminaron con él hacia la carretera en busca de una ambulancia. Una vez allí, uno de los cargadores escuchó otra explosión proveniente del área indicada en la Figura 17.



Figura 18. Imágenes posteriores al incidente de los "túneles" de carga de camiones y los rieles. Al momento del incidente, los cargadores estaban trabajando en el túnel y presenciaron fuego y llamas provenientes del túnel del extremo oeste.

Respuesta de Emergencias

Las primeras llamadas telefónicas sobre el incidente se recibieron a las 11:01 PM, y la primera alarma en el Departamento de Bomberos Voluntarios de Cambria sonó a las 11:03 PM. Incluso antes de llegar a la escena, y después de escuchar los informes de primera mano de los encargados de emergencias que ya estaban en el lugar, el Jefe de Bomberos Voluntarios de Cambria solicitó recursos adicionales, incluidos otros departamentos de bomberos y equipos de rescate pesado.³⁹ Después de llegar a la escena a las 11:10 PM, el Jefe de Bomberos pidió más recursos para ayudar con el daño excesivo de los edificios colapsados y el gran incendio en la planta.⁴⁰ De acuerdo

³⁸ Este individuo finalmente murió debido a sus quemaduras.

³⁹ El Jefe de Bomberos informó a la CSB que solicitó recursos adicionales antes de llegar a la escena debido a la planificación previa y las visitas al sitio.

⁴⁰ En total, más de 200 rescatistas de 20 departamentos de bomberos locales, varios equipos médico de emergencia (EMS) y el cuerpo de búsqueda y rescate de la ciudad de Wisconsin respondieron al incidente en Didion.

con las declaraciones de otros testigos, el Jefe de Bomberos también vio una gran bola de fuego venir del centro del almacén colapsado (Figura 17). El personal de la respuesta de emergencias formó tres grupos: búsqueda y rescate, extinción de incendios y Servicios Médicos de Emergencia (EMS). Cada grupo estaba dirigido por un jefe de bomberos diferente, mientras que el Jefe de Bomberos de Cambria manejaba toda la escena. Durante aproximadamente las siguientes cuatro horas, los grupos trabajaron juntos para llevar a cabo operaciones de búsqueda y rescate, controlar y extinguir los incendios restantes y evacuar a los trabajadores lesionados.

Todas las unidades de Bomberos y EMS (Servicio Médico de Emergencia) despejaron la escena el viernes 2 de junio de 2017, justo antes de las 2 PM. Ninguno de los más de 200 rescatistas en el sitio resultó lesionado en ningún momento durante la respuesta. Después del incidente, la respuesta general se llamó "como dicta el libro"; un jefe de bomberos le dijo a la CSB: "manejar esta escena y lograr que nadie salga lesionado, es fenomenal".

Posibles fuentes de polvo en Didion y planes a futuro

Como lo indica las descripciones de este informe, los trabajadores observaron nubes de polvo cerca del molino triturador (gap mill) sur momentos antes de que la (s) explosión (es) ocurrieran la noche del incidente. Dos fuentes potenciales de las nubes de polvo que se observaron son:

- El polvo y el producto arrojados al aire desde el equipo dañado por un evento de sobrepresión, como el que causó que la línea de entrada de aire del molino de separación explotara, o alguna otra falla, y
- el deslizamiento o golpeteo hacia el aire del polvo fugitivo que se había acumulado en el piso, tuberías elevadas y otras superficies horizontales dentro del molino.

Para determinar qué fuente (es) podrían haber contribuido al incidente, la CSB está examinando las declaraciones de los testigos, los patrones de daños posteriores al incidente y el modelado por computadora de la propagación de incendios y explosiones en la planta.

El proceso de molienda en Didion era complejo. Muchas líneas de productos pasaban por varios equipos en diferentes molinos y en diferentes pisos varias veces antes de su empaqueo y envío.⁴¹ Los trabajadores informaron que a medida que el producto pasaba a través del molino y el área de empaque, el polvo podía liberarse de varias maneras: fugas de equipos o tuberías, apertura de equipos para el mantenimiento o derrames de productos desde una bolsa de embalaje rota. Las responsabilidades laborales de los trabajadores incluían la limpieza y los entrevistados describieron cómo realizaban estas actividades a diario. Las cantidades reportadas de polvo en la fábrica el día del incidente dependen de las percepciones individuales, que varían ampliamente entre los empleados de Didion. Mientras que algunos empleados de Didion describieron la planta como "polvorienta", otros indicaron que estaba "limpia". Estas opiniones oscilaron entre las observaciones de que la planta estaba "como nueva" o "estaba tapado [de polvo] todos los días".

El modelado de computadora de la CSB⁴² como parte de la investigación del incidente de Didion proporcionará un contexto cuantitativo para los diversos niveles de polvo informados por los individuos. Identificará una cantidad aproximada de polvo de maíz suspendido que habría sido necesario para causar el nivel de daño en Didion. Los esfuerzos de la CSB ayudarán a explicar lo que probablemente sucedió en Didion. En términos más generales, puede generar aprendizajes que afecten el diseño y la construcción de equipos y edificios que puedan estar expuestos a riesgos de explosión de polvo.

La CSB ha desarrollado un protocolo de inspección de equipos y está trabajando con Didion y otros actores⁴³ para examinar el molino triturador (gap mill) donde los trabajadores vieron llamas que emanaban justo antes de las explosiones. Además, se iniciaron pruebas de polvo combustible de varias muestras, y los resultados ayudarán a completar el modelo de evaluación de explosión y daños del incidente. La CSB también continúa entrevistando a los trabajadores de Didion y examinando los documentos de la compañía para comprender mejor sus esfuerzos para manejar y controlar el polvo. La CSB tiene como objetivo explorar las condiciones que influyen en la gestión segura del polvo y los desafíos asociados con la prevención de explosiones de polvo a fin de buscar nuevas oportunidades para un cambio de seguridad significativo.

41 Ver el Apéndice A: Descripción del flujo de proceso simplificado para más detalles.

42 Específicamente, la CSB está desarrollando un modelo de dinámica de fluidos computacional tridimensional (CFD) basado en mediciones de campo del daño posterior al incidente, planos arquitectónicos y estructurales, y resultados de pruebas de polvo.

43 La CSB se esfuerza por tener un enfoque de colaboración para la realización de las pruebas. Debido a esto, la CSB tiene en cuenta los intereses de Didion, los asesores legales que representan a los trabajadores y sus familias afectados por esta tragedia y los fabricantes de los diferentes equipos utilizados en la planta.

Apéndice A: Descripción del flujo de proceso simplificado

La Figura 19 muestra un resumen del proceso de molienda de Didion. El maíz crudo comienza el proceso de molienda con una limpieza en el molino F. Durante la limpieza, el equipo separa las mazorcas, los tallos y escombros, como piedras y suciedad de los granos enteros de maíz.⁴⁴ Luego, los granos entran en un recipiente de templado, donde se sumergen en agua para ablandarlo,⁴⁵ lo que facilita la separación del salvado, el germen y el endosperma. Después del remojo, los molinos de perno⁴⁶ rompen los granos de maíz en pedazos grandes para separar el salvado y el endosperma del germen en un proceso llamado desgerminación. Otro equipo elimina el germen de la línea de proceso y lo envía a la planta de etanol.

Estas piezas restantes de salvado y endosperma se separan por tamaño y tipo en un proceso generalmente denominado fraccionamiento. En los primeros pasos del fraccionamiento, la harina de endosperma blanda se separa de los granos triturados, mientras que la porción más dura del endosperma y el salvado se transportan⁴⁷ a una sección diferente en el molino B.⁴⁸ El proceso de fraccionamiento reduce el tamaño del maíz utilizando molinos de rodillos⁴⁹ donde el endosperma duro se separa del salvado. Esto permite a un aspirador⁵⁰ separar el endosperma duro y el salvado en flujos de proceso individuales.

El salvado es muy liviano, por lo que es fácil de transportar usando ventiladores. Los sopladores lo transportan al molino D, donde una secadora elimina el exceso de humedad agregado durante el proceso de templado. Utilizando una serie de tamices, molinos y aspiradores en los molinos D y B, el tamaño del salvado se reduce hasta que alcanza los requisitos de tamaño y densidad de los clientes, después de lo cual, se transporta a la ubicación adecuada del producto.

El endosperma sigue un proceso similar. Los sopladores lo transportan al molino D para su secado, y luego al molino A, donde más separadores y molinos reducen su tamaño. De nuevo, una vez que se alcanza el tamaño de partícula deseado, los sopladores lo transportan al contenedor de producto apropiado. Durante este

proceso, se recupera algo de salvado perdido utilizando aspiradores y se redirige al sistema de salvado en el molino D.

Una vez que se completa la molienda, los productos terminados se almacenan en una serie de contenedores en el sitio de carga a granel o el molino A, donde los trabajadores lo cargan en camiones y vagones para su transporte o los empaquetan antes de su envío.

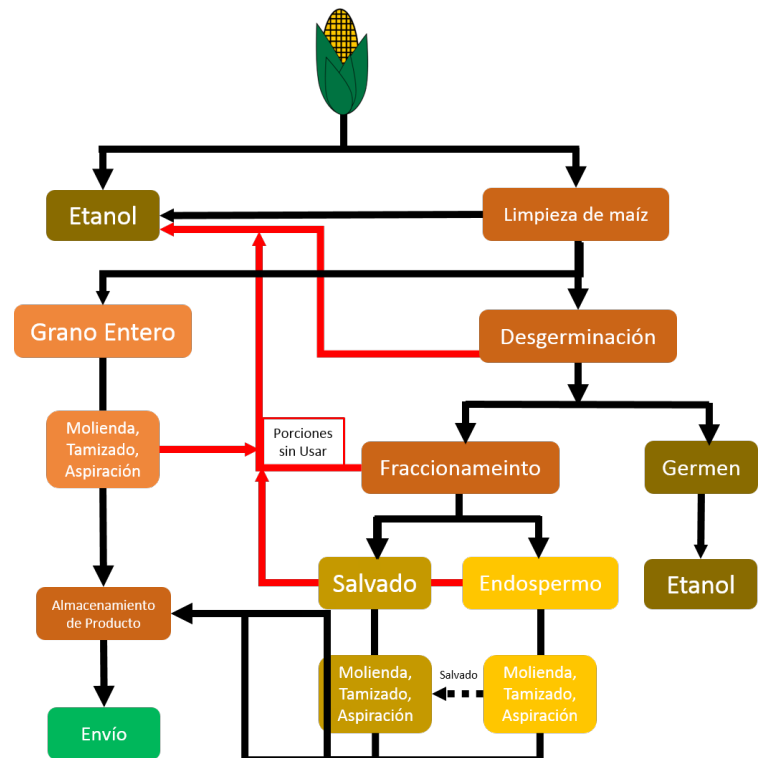


Figura 19. Didion recibe maíz crudo de los agricultores locales. Los granos se separan en tres componentes: salvado, endosperma y germen. El germen se elimina en las primeras etapas del proceso y se envía a la planta de etanol. El salvado y el endosperma se separan y muelen más hasta cumplir con los requisitos del cliente. El producto se almacena hasta que esté listo para su transporte a los clientes. Durante todo el proceso, el material de maíz que no se utiliza para fabricar productos alimenticios se envía a la planta de etanol.

44 El maíz residual, como el polvo y los granos rotos, se envía a la planta de etanol para fermentar.

45 Esto también se llama atemperar.

46 Un molino de perno giratorio hace que el maíz pase a través de varios pernos o bloques, impactando el maíz y reduciendo el tamaño de las partículas.

47 Los diversos flujos de maíz se mueven mecánicamente con equipos como cintas transportadoras y elevadores de contenedores, o neumáticamente usando presión de aire para soplar el material de un proceso al siguiente.

48 Aunque no se describe en el texto, la mayoría de las fracciones se envían primero a una secadora para eliminar la humedad que se había agregado en el paso anterior.

49 Los molinos de rodillos usan pares de rodillos cilíndricos o rodillos cilíndricos contra placas planas para moler el producto.

50 Un aspirador es un dispositivo que utiliza una corriente de aire para eliminar las partículas livianas de las más pesadas en función de sus diferencias de densidad y forma.