

CONTROL DE AMBIENTES EXPLOSIVOS EN TERMINALES GRANELERAS

Sandra Delgado Merchán, Guadalupe López Mérida y Armida del R. Arevila Ramírez

ALMACENADORA SUR S. A. DE. C.V.
Benjamin Franklin # 132, 3er piso, Col. Escandón C. P. 11800 México, D. F.
TEL: (5) 326-66-00 EXT 6397/ 6398, FAX (5) 238-60-51
armida.arevila@ica.com.mx

RESUMEN

Actualmente las terminales encargadas del almacenamiento y distribución de granos juegan un papel importante dentro de la industria alimenticia de nuestro país. Como consecuencia del manejo que se realiza en estas instalaciones, tales como maíz, trigo, sorgo y soya, este tipo de industria es considerada como una fuente ostensible de emisiones fugitivas de polvo. El polvo generado por dichas terminales, conocido comúnmente como "tamo" es caracterizado como un compuesto potencialmente explosivo, bajo condiciones de elevadas de concentración y ambientes no controlados en espacios cerrados; dando como consecuencia la propagación de fuego y explosiones devastadoras, las cuales han ocasionado graves daños a los seres humanos, la pérdida de la vida humana, propiedades, negocios y sobre todo alteraciones al medio ambiente.

Por lo anterior es necesario contar con un diagnóstico ambiental, el cual nos permita identificar las principales áreas críticas de riesgo de explosión en las terminales (silos, almacenes, torres de distribución, etc.), estimar los índices ponderados de explosividad para diferentes granos, así como el desarrollo de programa de prevención y control de ambientes explosivos, que incluya medidas de control de emisiones de polvos en fuentes identificadas como potenciales, indicadores físicos y químicos precursores de ambientes explosivos, además de la implantación de buenas prácticas de operación y mantenimiento de equipos e instalaciones que permitan la mitigación de episodios críticos y contingencias, basados en los lineamientos normativos establecidos por National Fire Protection Agency (NFPA), Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Organización de Agricultura y Alimentos (FAO-ONU) y Environmental Protection Agency (EPA).

INTRODUCCION

En México existen aproximadamente 1,739 empresas dedicadas al procesamiento de granos, siendo los principales productos agrícolas el maíz, trigo, arroz, ajonjolí, centeno, sorgo y cebada, durante la recolección y manejo existe la rompimiento grano, el al genera polvo de un rango de 17 a 120 micras. Estos polvos se encuentran suspendidos en el aire, acumulados sobre las superficies, equipos y adheridos en paredes, los cuales son de origen orgánico y de características altamente explosivas, que al contacto o interacción con variables físicas da origen a la propagación de explosiones.

La situación que prevalece actualmente en las terminales con relación a esta problemática es debido al tipo de explosiones generadas, las cuales son caracterizadas como primarias y secundarias. Una explosión primaria es el resultado de la combustión de tamos proveniente de fallas y mal mantenimiento de equipos de transportación e instalaciones eléctricas, al no ser controlada la explosión primaria y al tener contacto con el medio externo, en donde se encuentran nubes y capas de tamo en superficies bajo condiciones de alta temperatura y presión desencadenando una explosión de mayor intensidad que la primaria provocando graves daños a la instalación y al entorno ambiental.

En contraste a la mezcla de gases, los niveles de explosividad de los tamos de granos son difíciles de estimar debido a los diferentes tipos de partículas y variables físicas, tales como la turbulencia, presión, uniformidad de la dispersión y fuentes de combustión, etc. Sin embargo actualmente se cuenta con investigaciones y estudios realizados por agencias internacionales, tales como NFPA, OSHA, FAO y EPA que proporciona indicadores ambientales y de seguridad que permiten establecer parámetros y medidas para prevenir y controlar los factores precursores de ambientes explosivos.

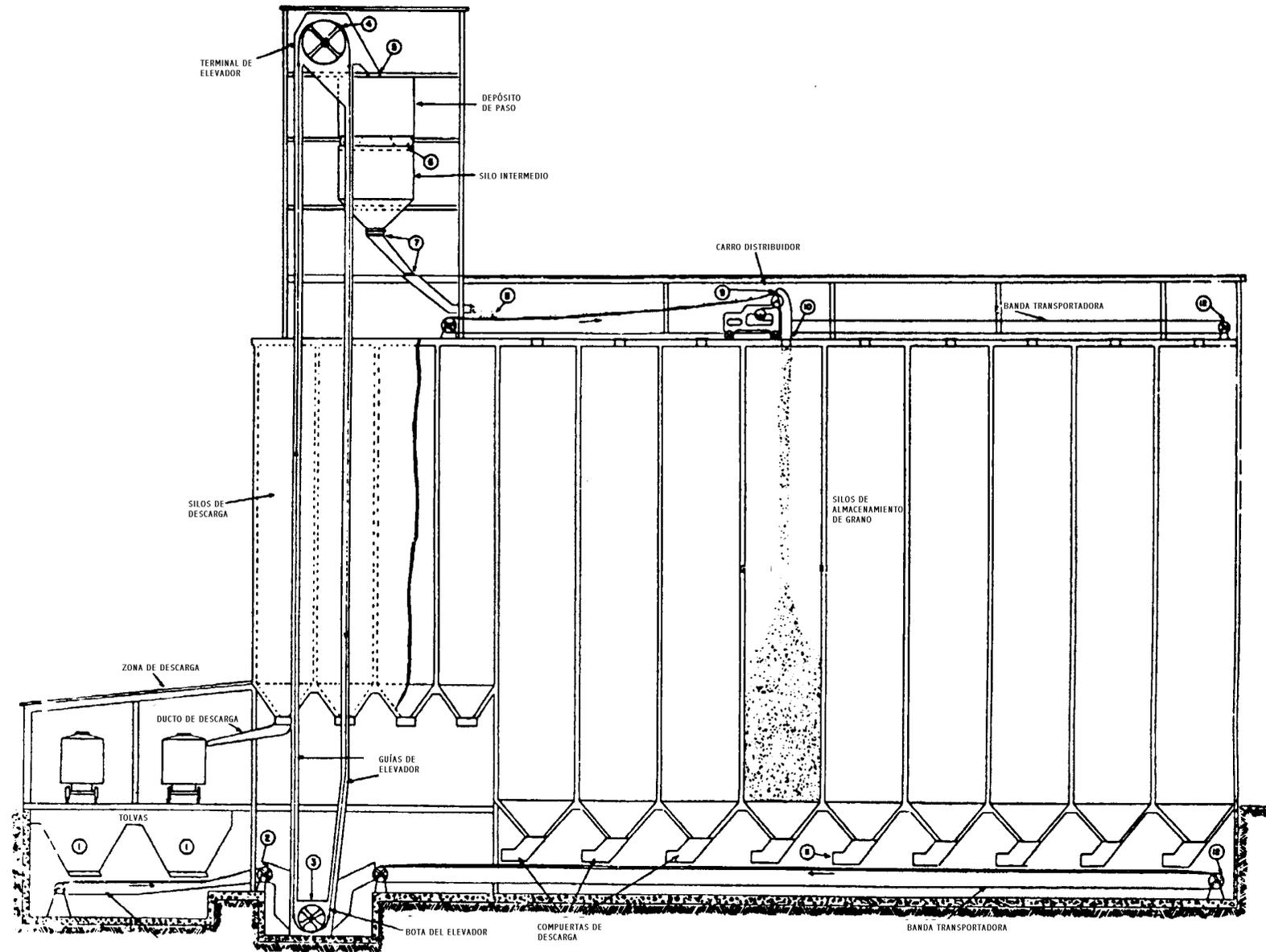
CARACTERISTICAS DE LA INDUSTRIA y MATERIA PRIMA

Descripción del proceso

El producto recibido en las tolvas de descarga es conducido por bandas transportadoras hacia la sección de sótanos de la torre central, donde caen a un elevador de granos de cangilones, el cuál traslada a los granos a la sección más alta de la estructura. A partir de este punto el producto comienza descender hacia las básculas, el producto pasa al piso de distribución donde se dirige a cualquiera de las áreas de la batería de silos o a las bodegas, de acuerdo a las instrucciones establecidas por el personal del laboratorio que verifica la calidad del grano, a fin de llevar a cabo la fumigación preventiva del grano que se ingresa a los silos a través de dispositivos de aplicación o dosificador

Finalmente se efectúa la descarga y envasado del grano, el producto de los silos es trasladado a la tolva de descarga y enviado al área de envasado y/o encostado, donde se realiza el proceso de distribución del grano o consumidores finales mediante el uso de camión o furgón.(figura 1)

Figura 1. Terminal de almacenamiento granos



Identificación de las principales fuentes de emisión de polvo

Los principales contaminantes que se generan en el manejo, almacenamiento y procesamiento de granos son principalmente material particulado, del tipo PST y PM-10.

Bajo esta caracterización se identificaron las principales fuentes de acuerdo a los factores de emisión establecidos por la EPA, apartado 42, tomando en cuenta la cantidad de grano manejado y/o procesado. En la Tabla 1, se resumen los procesos en donde se genera el mayor volumen de partículas, siendo los procesos de transportación y limpieza, las fuentes potenciales.

Tabla 1. Factores de emisión de material particulado

PROCESO	PST Kg/unidad	PM-10 Kg/unidad	Unidad
Limpieza	1.50	0.23	Toneladas de grano procesado
Descarga	0.50	0.09	
Carga	0.15	0.07	
Elevador(parte superior)	0.75	0.23	
Descargador (banda de nivel)	0.50	0.15	
Remoción de la tolva	1.40	0.40	
Terminal del elevador	5.11		
Banda	0.85	0.13	
Guía de Elevador	2.33	0.35	

PRINCIPALES FUENTES DE COMBUSTION Y EXPLOSIVIDAD

Los factores que contribuyen a la propagación de explosiones en terminales graneleras que cuenta con equipo de transportación y almacenamiento, se debe principalmente a las siguientes condiciones:

- a) Características del tamo de grano
- b) Fuentes de combustión
- c) Concentración de oxígeno
- d) La mezcla de oxígeno - tamo
- e) La combustión en espacios cerrados

a) Características de tamos de granos

Composición de granos

El tamo esta compuesto del 60 % a 75% de materia orgánica y del 25 % a 40 % de materia inorgánica de los granos, incluyendo lo siguiente:

Microorganismos.- Organismos microbianos, tales como hongos y bacterias, que se desarrollan principalmente, por las características climatológicas y geográficas, contenido de agua en el grano, tipo del grano y el tipo de practicas de almacenamiento.

Plaguicidas.- La aplicación de fumigantes para prevenir la descomposición y la propagación de plagas, principalmente en furgones y barcos, equipos transferencia, silos y bodegas graneleras.

Compuestos inorgánicos.- El tamo contiene del 8 al 18 % de fracción mineral principalmente silica.

Características explosivas

El peligro de la explosividad ocasionada por los polvos de productos agrícolas esta relacionado con la temperatura de combustión el tamaño de la partícula, los requerimientos mínimos de energía, de combustión y las concentraciones mínimas de explosividad. Las partículas más pequeñas necesitan menor energía para su combustión, debido a que se encuentran más tiempo suspendidos en el aire.(Tabla 2)

Tabla 2.Características de explosividad.

Tamaño de partícula micras	Concentración mín. de explosión (g/m ³)	Temperatura mín. de combustión (°C)	Índice mín. de severidad	
			Primaria	Secundaria
< 74	110	645	3.71	6.47
< 106	120	690	8.06	9.51
<150	150	670	2.52	2.26

b) Fuentes de combustión

Las bandas transportadoras, los elevadores de cangilones, silos, cribadoras, tolvas y ciclones son equipos que están involucrados o considerados como las principales fuentes de combustión y explosión, ya que en ellos se pueden detectar fallas en los cabezales y poleas que se traducen en incrementos de temperatura, fricciones (chispas por fricción), desprendimiento de metales (chispas por impacto), desalineación de los equipos y sobrecargas eléctricas en los paneles de control. Lo anterior aunado a flamas de soldadura, de gas de corte y descargas electrostáticas, siendo las primeras las más frecuentes.

c) Concentración de oxígeno

La cantidad de oxígeno en el aire es un factor principal para dar origen a una explosión. Las concentraciones mayores al 12% son suficientes para que se lleve acabo la combustión. Una alternativa para el control de estos niveles es el uso de gases inertes como el Nitrógeno y el dióxido de carbono, los cuales no son recomendables para ser usados a gran escala.

d) La mezcla de oxígeno con el polvo de grano

La relación polvo - oxigeno ocurre principalmente en puntos de transferencia donde el grano es descargado en lugares cerrados. Por ello es indispensable contar con dispositivos de aireación, en caso de no contar con estos, debe colectarse el polvo a través de un sistema de control.

e) La combustión en espacios cerrados

La presencia de polvos en espacios cerrados ocurre en elevadores de cangilones, tolvas, cribadoras, colectores de polvos e instalaciones básicas de la terminal, para evitar que un explosión dañe las instalaciones de la terminal es necesario reforzar con materiales de construcción más resistentes, y con dispositivos de alivio de desfogue que regule la presión. Generalmente cuando se presenta un incremento de presión se genera un primera explosión y se incrementan las concentraciones de polvo, que al no ser controladas produce una segunda explosión que es más destructiva.

ESTIMACION DE INDICES DE EXPLOSIVIDAD

Para la evaluación de la explosividad del tamo y obtención del rango numérico tomando como base el índice desarrollado por U. S. Bureau of Mines. El índice proporciona un rango relativo de explosividad, como una función de la temperatura de combustión, energía de combustión, concentración de explosión, presión de explosión y rango de la presión máxima en función a las características de polvo de carbón. Para el cálculo del índice de explosividad se toman en cuenta las siguientes variables:

$$\text{Sensibilidad de combustión} = \frac{(\text{Temp. de. Combustión} \times \text{Energía. Combustión de Mín.} \times \text{Concentración. Mín. de. Explosión}) \text{ carbón}}{(\text{Temp. de. Combustión} \times \text{Energía. Combustión de Mín.} \times \text{Concentración. Mín. de. Explosión}) \text{ tamo}}$$

$$\text{Severidad de explosión} = \frac{(\text{Presión máx. explosión} \times \text{Rango de presión máx}) \text{ muestra de tamo}}{(\text{Presión máx. explosión} \times \text{Rango de presión máxima de fermentación}) \text{ carbón}}$$

Índice de explosividad = Sensibilidad de combustión X Severidad de explosión

Generalmente en estas terminales los límites mínimos de explosión se reportan en un rango de concentración de 20 a 55 gr/cm³ de tamo de grano en áreas de trabajo. En el caso de límites de explosión máximos el rango se estima de 1,000 a 3,000 gr/cm³ y solo se pueden presentar en áreas cerradas como son los elevadores cangilones y compuertas de descarga. La Tabla. 3, muestra las propiedades de explosividad de diferentes tipos de polvos agrícolas, necesarias para el cálculo de los índices de explosividad correspondientes.

Tabla 3. Indices de explosividad

TIPO DE TAMO	Rango relativo			Datos de explosividad					
	Sensibilidad de combustión	Severidad de explosión	Indice de explosividad	Temperatura de combustión (C°)		Energía de mín. de combustión (joules)	Concentración de explosividad mín. Gr/m3	Presión máx. de explosividad (kpa)d	Rango máx. de presión (Mpa/seg)
				NUBES	CAPA				
Maíz	2.8	3	8.4	400	250	0.04	55	655	41
Harina de maíz	6.6	5.4	35.6	380	333	0.04	45	745	62
Arroz	2.5	1.8	4.5	440	220	0.05	50	640	18
Trigo	1.3	1.9	2.5	470	220	0.050	55	680	41
Harina de trigo	10.6	4.7	49.8	420	----	0.025	45	690	45
Soya	2.2	3.4	7.5	520	260	0.10	60	540	5.5
Tamos de granos mezclado	2.8	3.3	9.2	430	230	0.03	55	790	38
Carbón	1.0	1.0	1.0	610	-----	0.06	55	398	16

PONDERACION DE NIVELES DE EXPLOSIVIDAD

Cada índice es ponderado de acuerdo a los datos de explosividad, asignándole el valor de 1, al polvo de carbón y los valores mayores que 1, a explosividad peligrosa. (Tabla 4)

Tabla 4. Niveles de explosividad

NIVEL DE EXPLOSION	SENSIBILIDAD DE EXPLOSION	SEVERIDAD DE EXPLOSION	INDICE DE EXPLOSIVIDAD
DEBIL	< 0.2	< 0.5	< 0.1
MODERADA	0.2-1.0	0.5-1.0	0.1-1.0
FUERTE	1.0-5.0	1.0-2.0	1.0-10
SEVERA	>5.0	>2.0	>10

PROGRAMA DE PREVENCION Y CONTROL DE AMBIENTES EXPLOSIVOS

El programa aplica principalmente en áreas críticas, con la finalidad de mitigar los impactos de la explosión fuera de la instalación, controlar la propagación del fuego, y sobre todo proteger la vida y los bienes de la instalación. Para ello es recomendable considerar las siguientes medidas preventivas:

A. Instalación de Sistemas Neumáticos de Colección de Polvos

Los niveles de polvo en aire ambiente y equipos de transportación son controlados por sistemas neumáticos de colección de polvos diseñados, mantenidos y operados de acuerdo a las siguientes condiciones:

- Propiedades físicas y químicas de las partículas
- El rango de flujo volumétrico de la corriente del gas
- El intervalo de las concentraciones de las partículas (cargas de polvo)
- La temperatura y presión de la corriente de flujo
- El porcentaje de humedad
- Las características de la fase gaseosa
- Condición requerida por el efluente tratado (indicador de eficiencia de colección)

Los sistemas más comúnmente usados en las terminales de granos son los filtros de bolsas y los separadores ciclónicos.

Filtros de bolsa.

Los filtros de bolsa se utilizan para altas eficiencias de remoción de partículas de 0.5 micras (99%), colección de materiales secos, temperatura ambientales bajas y temperatura del gas que este por arriba del punto de rocío.

Separadores ciclónicos

Los separadores ciclónicos son dispositivos purificadores de polvo que emplean una fuerza centrífuga generando una corriente de gas que permite separa las partículas del gas que los transporta, por lo general este equipo se utiliza para eliminar partículas mayores o iguales a 10 micras. Su eficiencia es menor o igual al 90 %.

B. Instalación de Sistemas de Extracción y captación de polvos

La principal medida para el control de incendios y explosiones, es la instalación de sistemas de extracción y control, ya que regula los cambios bruscos de presión, permite liberar las elevadas concentraciones de polvo fuera de la instalación. Estos sistemas frecuentemente son usados en almacenes debido a que su diseño es fácil y su instalación es económica. Las principales condiciones que se deben considerar para su diseño son: concentraciones y volumen de generación de polvo, las dimensiones del área crítica, condiciones de turbulencia y dispersión e incremento de las fuentes de energía de combustión.

Areas principales

Ventilación en Silos.- Debido a que se genera una mayor cantidad de polvo, cuando los silos están vacíos, se recomienda que los silos se mantengan llenos, para evitar turbulencias y posible fuentes de ignición. Además es necesario instalar un sistema de ventilación en la parte superior (cubierta) del silo, así como el control de la aplicación de fumigantes para evitar que los vapores entren en contacto con el aire y se forme una mezcla explosiva.

Ventilación en ductos.- Generalmente el sistema de extracción de polvos esta compuesto por ductos de transferencia de polvo en ciclones y filtros. La estructura del ducto es usualmente de forma circular o rectangular, generalmente diseñadas para un velocidades de aire entre 20 y 25 m/s, la cual evita que se depositen elevadas concentraciones de polvo con el fin de tener un nivel bajo de explosividad.

Ventilación de elevadores.- Dentro del elevador ocurren con facilidad las explosiones debido al flujo rápido y turbulento del aire, fuentes de ignición provenientes del desalineamiento de bandas de distribución, fallas en los cojinetes, introducción de materiales sobre calentados y posibles descargas estáticas. Con base a estos factores se recomienda la instalación de un

sistema de ventilación en la bota y cabezal del elevador, así como la detección de fallas de desalineamiento de bandas de distribución y cojinetes, través de sensores de velocidad y temperatura.

C. Prevención de daños en estructuras civiles

La forma segura para prevenir daños en las estructuras civiles de la terminal, por incendios y explosiones, es sustituyendo los materiales de construcción, por blocks de concreto reforzado y estructuras metálicas no inflamables y resistentes al fuego

D. Prevención de Incendios

Para la protección contra incendios la Terminal debe contar con un programa específico basado en los lineamientos de Agencia de Protección contra incendios de Estados Unidos (NFPA), el cual considere lo siguiente:

- Identificación de áreas de riesgo de explosión dentro de la instalación
- Suministro de extinguidores en las áreas identificadas
- Servicio local bomberos,
- Instalación de un sistema de rocío automático
- Grúa hidráulica y sistema de mangueras para los pisos mas elevados en la torre principal de silos
- Verifique todas las posibles fuentes de combustión por el nivel de riesgo como causas de fuego y explosión.
- Asegure que los sensores temperatura y fuego funcionen adecuadamente.
- Verifique periódicamente las condiciones de los extinguidores.

F. Medidas de Seguridad

Seguridad en ambientes laborales

- Mantener todas las áreas limpias y libres de polvo.
- Eliminar el polvo de todas las superficies de la terminal por medio de aspiradoras de alto vacío.
- Evitar la acumulación de polvos en motores eléctricos
- Mantenimiento periódico de los ciclones y filtros de bolsa para garantizar su buen funcionamiento
- Repara inmediatamente todas la fallas de los equipos
- Verificar todas las puertas de emergencia estén cerradas durante las operaciones normales, que se abran fácilmente desde afuera y que tengan salida claramente identificadas?

Operación y mantenimiento

- Contar con un control maestro de paro automático en caso de contingencias, el cual integre los sistemas de apagado y encendido de toda la maquinaria.
- Apagar los motores antes de realizar el mantenimiento y reparación

- Apagar los compresores de aire y máquinas hidráulicas antes de iniciar la reparación
- Nunca operar una maquina que no cuente con compuertas en buen estado
- Verifique que los paneles de liberación de explosión y ductos de ventilación no estén bloqueados. Checar que las ventanas y las puertas de la maquinaria puedan abrirse con corrientes de aire para liberar la presión de una explosión.

Seguridad de la maquinaria

- Verificar diariamente el funcionamiento de las cribadoras
- Proporcionar mantenimiento continuo a elevadores, cribadoras, maquinaria y equipo general de la torre

Seguridad de las instalaciones eléctricas

- Inspección y evaluación continua de instalaciones eléctricas
- Mantener protegidas con cubiertas de vidrio todas las lamparas
- Reparar inmediatamente todas las fallas de equipo eléctrico
- Realizar auditorias a instalaciones eléctricas, a través de un consultor externo capacitado, por lo menos una vez al año.
- No deje conexiones en malas condiciones en el piso.

CONCLUSION

Las explosiones en terminales graneleras es un riesgo eminente, por lo que es esencial implantar un Programa Integral de Prevención y Control de Ambientes Explosivos en el cual existan objetivos y acciones concretas que minimicen el riesgo; tales como:

- Disminución de la generación de polvo en todas las operaciones que manejan grano.
- Eliminación de fuentes de combustión (evitar prácticas peligrosas como soldadura y todo el equipo debe estar conectado a tierra).
- Reducir los contenidos de oxígeno en silos, maquinaria bajo el mínimo soporte de combustión y diluir el aire con nitrógeno y bióxido de carbono.
- Reforzar y/o construir instalaciones y maquinaria de mayor resistencia a impactos por explosión. Aislar maquinarias vulnerables.
- Instalación de ductos de ventilación en paredes, techos, silos., elevadores, así como equipos de control de polvos.
- Integración de un sistema de control de explosiones conformado por sensores de oxígeno, temperatura, presión y el sistema contra incendios,
- Capacitación y concientización de todo el personal.
- Documentación e instrumentación procedimientos en áreas operativas y de mantenimiento.

Todo lo anterior aunado al desarrollo de una normatividad nacional comprensible y aplicable, en la que se establezcan los límites y métodos de control en áreas laborales, que involucre la maquinaria, el equipo, protección a los trabajadores y al entorno.

REFERENCIAS

David B. Williams & Alfred D. Gracey (1994), *Maintenance and operation of bulk grain storage*, Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO).

EPA (1997), *Emission factor documentation for AP-42, Section 9.9.1 "Grain elevators and Grain Processing Plants"*, Office of Air Quality Planning and standards emissions factors and Inventory Group.

Jacobson, M. Nagy, J.; Cooper A.; Ball, F. J. (1961) *Explosibility of Agricultural Dusts*, U. S. Department of Interior, Bureau of Mines

Michael A. Brown (1988), *Health hazards of storing handling and shipping grain*, National Institute Of Occupational Health, Solna & Sweden.

NIOSH (1983), *Occupational safety in grain elevators and feed mills*, U. S. Department of Health and Human Services, Morgantown, West Virginia.

NFPA (1995), *Fires and dusts explosions in Agricultural and Food Product Facilities*, Technical Committee on Agricultural dusts, Denver

Steven Jukes (1990), *Control of fire explosion in feed mills*, Cargill Inc.