



Diseño de un sistema de accionamiento inalámbrico para un extintor industrial

**Yeisson Elías Consuegra Cassiani
Gustavo Adolfo Ruiz Valdés**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Puerto Colombia, Colombia

2021

Diseño de un sistema de accionamiento inalámbrico de un extintor para la industria minera

**Yeisson Elías Consuegra Cassiani
Gustavo Adolfo Ruiz Valdés**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director (a):

Ph.D. Fabio Bermejo

Codirector (a):

Línea de Investigación:

Grupo de Investigación:

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Puerto Colombia, Colombia

2021

Resumen

Este proyecto de grado propone el diseño de un sistema de accionamiento para la contención de incendios de maquinaria pesada para el sector minero, la cual necesita de sistemas menos complejos y más confiables. Se presentará una modificación al sistema original de extinción; se reducirán conductos de nitrógeno que presurizan los extintores de polvo químico seco, gracias al sistema de detección y el sistema de aspersión, los cuales serán comunicados ahora de manera inalámbrica por un módulo de radiofrecuencia. Como resultado final se obtendrá los planos de diseño del mecanismo de accionamiento modificado para su instalación en un camión minero.

Palabras clave: *Sistema Contra incendios, contención de incendios, extintor, polvo químico seco, sistema de comunicación por radiofrecuencia.*

Abstract

This degree project proposes the design of a drive system for the containment of heavy machinery fires for the mining sector, which requires less complex and more reliable systems. A modification to the original extinguishing system will be presented; Nitrogen ducts that pressurize dry chemical extinguishers will be reduced, thanks to the detection system and the sprinkling system, which will now be communicated wirelessly by a radio frequency module. As a result, the design drawings of the modified drive mechanism for installation in a mining truck will be obtained.

Keywords: *Firefighting system, fire containment, extinguisher, dry chemical powder, radio frequency communication system.*

Contenido

1. Introducción	13
2. Planteamiento del problema.....	15
3. Antecedentes.....	16
4. Marco teórico.....	18
4.1 Mecanismos de extinción	19
4.1.1 Inhibición	19
4.1.2 Eliminación	19
4.1.3 Enfriamiento	19
4.1.4 Sofocación.....	20
4.2 Agentes extintores de fuego	20
4.2.1 Agua líquida o pulverizada.....	21
4.2.2 Gas carbónico (CO ₂)	22
4.2.3 Polvo químico seco.....	22
4.2.4 Espumas químicas y físicas.....	22
4.3 Principio de funcionamiento de sistemas vehiculares de detección y supresión de fuego.....	23
4.3.1 Cable de detección	23
4.3.2 Módulo de control	23
4.3.3 Mecanismo de accionamiento.....	24
4.3.4 Detonador.....	24
4.3.5 Tanque de reserva de agente extintor	24
5. Estado del arte	26
5.1 Sistema directo Firetrace.....	34
5.2 Sistema indirecto Firetrace	35
5.3 Accionamiento remoto.....	35
5.4 Accionamiento por radiofrecuencia	36
6. Objetivos.....	39
6.1 General	39
6.2 Específicos.....	39
7. Metodología.....	40
8. Diseño del sistema de aspersión de polvo químico seco	41
8.1 Diseño del tanque de polvo químico seco	41
8.1.1 Dimensiones tanque original.....	43
8.1.2 Dimensiones tanque modificado	43
8.1.3 Parámetros de diseño.....	43
8.1.4 Presión de operación y presión de diseño	43
8.1.5 Temperatura de diseño.....	44
8.1.6 Eficiencia de la junta de soldadura.....	44
8.2 Selección del material	45
8.2.1 Material.....	45
8.3 Cargas en el recipiente.....	47
8.3.1 Partes del recipiente a presión.....	47
8.3.2 Esfuerzos en el recipiente.....	48

8.3.3	Esfuerzo circunferencial	48
8.3.4	Esfuerzo longitudinal	48
8.4	Construcción de las cabezas (Tapas)	49
8.4.1	Tapas planas.....	49
8.4.2	Tapa plana con ceja	50
8.4.3	Tapas semielípticas.....	50
8.4.4	Tapas toriesféricas	50
8.4.5	Cálculo del espesor de la tapa toriesférica superior.....	51
8.4.6	Cálculo del factor adimensional M	52
8.4.7	Altura de la tapa	53
8.5	Dimensiones de las partes del recipiente	53
8.5.1	Tapa superior	54
8.5.2	Tapa inferior	54
8.5.3	Cuerpo cilíndrico	55
9.	Implementación del sistema de comunicaciones.....	56
9.1	Selección del módulo RF	56
9.2	Codificación	59
9.3	Configuración del transmisor.....	62
9.4	Configuración del receptor.....	63
9.5	Conexión del receptor al actuador electroneumático	64
9.6	Caja de protección del circuito transmisor y receptor	65
9.6.1	Norma DIN en IEC Grado de protección IP	65
9.6.2	Material particulado en minas.....	66
9.6.3	Determinación del primer índice IP (A).....	66
9.6.4	Determinación del segundo índice IP (B)	67
9.6.5	Determinación del grado de protección IK.....	68
9.6.6	Determinación de la caja de protección.....	69
9.6.7	Dimensiones de los circuitos.....	70
10.	Integración del sistema de comunicaciones y el control de incendios	72
11.	Conclusiones y recomendaciones	74
11.1	Conclusiones	74
11.2	Recomendaciones	74
Anexos.....	.....	76
A.	Planos de diseño de la capsula de gas expelente	76
B.	Anexo: Esquema del circuito eléctrico de comunicaciones	77
C.	Anexo: Hoja de datos de seguridad para polvo químico seco FORAY	78
Bibliografía.....	.....	79

Lista de figuras

Figura 3.1. Porcentaje de accidentes presentados en Colombia durante el 2020, corte en 19/11/2020.....	17
Figura 4.1. Mecanismos de extinción de incendios: separación, enfriamiento y sofocación. En cada uno se priva al fuego de un elemento necesario para producirlo Tomado de: (SatirNet Safety, 2014)	20
Figura 4.2. Esquema general de sistema de detección y contención de incendios en vehículos pesados. Cada parte se encuentra enumerada. (Tomada de: (Inderfor, n.d.))	25
Figura 5.1. Sistema de extinción de fuego patentado por Thomas (2000).	27
Figura 5.2. Patente desarrollada por James (2001). Se ve un sistema de extinción compacto con la cápsula de gas presurizado al interior del contenedor de agente extintor.	28
Figura 5.3. Esquema del sistema de descarga del agua nebulizada (Sánchez Ocaña, 2014).....	29
Figura 5.4. Diagrama de ubicación de los sistemas detector y extintor dentro del bus articulado. (Sánchez Ocaña, 2014).....	29
Figura 5.5. Detector fusible de calor (Sánchez Ocaña).....	30
Figura 5.6. Áreas de incendio típicas de un vehículo (Hernández, I).....	31
Figura 5.7. Sistemas de supresión de incendios (Ansul)	31
Figura 5.8. Sistema de Polvo Químico Seco A-101 (Ansu).....	32
Figura 5.9. Sistema de agente líquido LVS (Ansul).....	32
Figura 5.10. Sistema de Agente Doble A-101/LVS (Ansul)	33
Figura 5.11. Vehicle Fire Suppression System – Ansul LVS-101 Large Installation.	33
Figura 5.1.1. Sistema Directo Firetrace (Firetrace USA)	34
Figura 5.1.2. Tubo detector Firetrace (Firetrace USA)	34
Figura 5.2.1. Sistema indirecto Firetrace (Firetrace USA)	35
Figura 5.3.1. Sistema de supresión de incendios Muster (Morse Hidraulic System).....	35
figura 5.3.2. Diagrama del módulo de activación (FSS).....	36
Figura 5.4.1. Transmisión de datos (Martinez Hernandez)	37
Figura 8.2. Esquema de unidad de aspersión. (Autores).....	42
figura 8.1.6. Tabla. Eficiencia de la junta de soldadura según la ASME UW-12.....	44

Figura 8.2.1. Tabla Composición acero ASTM 285 C.....	46
Figura 8.2.2. Tabla. Esfuerzo a la tensión del acero ASTM 285 C en función de la temperatura. ASME VIII.....	46
figura 8.3.1. Esfuerzo circunferencial y longitudinal (J.Massa).....	47
Figura 8.4.1. Tapa plana	49
Figura 8.4.2. Tapa plana con ceja	50
Figura 8.4.3. Tapa Semielíptica.....	50
Figura 8.4.4. Tapa toriesférica.....	51
Figura 8.4.7. Proporción entre altura y pestaña, ASME VIII.	53
Figura 8.5.1. Dimensiones tapa superior (Autores).....	54
Figura 8.5.2. Dimensiones tapa inferior (Autores).....	54
Figura 8.5.3. Dimensiones cuerpo cilíndrico (Autores).....	55
Figura 9-1. Sistema de comunicaciones	56
Figura 9.1.1. Módulo NRF24L01 (Semiconductor, N. (2008).).....	58
Figura 9.1.2. Módulo Bluetooth HC-05 (ITEad Studio, 2010).....	58
Figura 9.1.3. Módulo RF 433MHz (Escol, 2015).....	58
Figura 9.2.1. Modulo transmisor-receptor.....	60
Figura 9.2.2. Módulos HT12E y HT12D	60
Figura 9.3.1. Esquema general del circuito transmisor (Autores).....	62
Figura 9.4.1. Esquema general del circuito receptor (Autores)	63
Figura 9.5.1. Actuador electroneumatico (Manual Chekfire 110 Tyco).....	64
Figura 9.5.2. Dispositivo de actuación de protracción (Manual Chekfire 110 Tyco)	64
Figura 9.6.3. Valores del primer índice IP (IEC 60529).....	67
Figura 9.6.4. Valores del segundo índice IP (IEC 60529).....	68
Figura 9.6.5. Código de protección IK (IEC 62262).....	69
Figura 9.6.6. Cajas industriales aislantes de uso general (Catálogo Schneider Electric).....	70
Figura 9.6.7. Diagrama de la caja de protección del circuito transmisor (Autores)	70
Figura 9.6.7.1. Diagrama de la caja de protección del circuito receptor (Autores) .	71

Lista de tablas.

Tabla 4-1 Clases de Fuego según su combustible. Tomada de: (Esplugas & Pitarch, 2018)..... 18

Tabla 4-2 Clases de fuego y agentes extintores más recomendados para combatir a cada uno. (Tomada de: (Esplugas & Pitarch, 2018)).21

Tabla 9-1 Matriz de selección ponderada59

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
D _{in}	Entrada digital
D _{out}	Salida digital
IoT	Internet de las cosas
R _{osc}	Resistencia de oscilación
V	Voltios
mAh	Miliamperios hora
MPa	Mega pascales
in	Pulgadas

1. Introducción

La industria minera comprende un reto importante cuando se desea tener control sobre las fuentes inflamables. Casi todos los equipos aquí utilizados suponen un riesgo considerable a la hora de la operación, distribución, transporte o almacenaje. Para esto, se implementan en ellos, sistemas de detección y control de incendios capaces de contrarrestar de manera oportuna potenciales catástrofes. La maquinaria pesada relacionada no está exenta de estos mecanismos.

Hoy en día se pueden encontrar diferentes tipos de sistemas tanto para la detección como para la contención de estos. Extintores que utilizan agentes como el agua, polvo químico seco, dióxido de carbono o hidrocarburo halogenado son algunos de los sistemas de contención más comunes para la contención de incendios, así como también sensores basados en temperatura, presencia de humo, o cámaras infrarrojas son algunos de los sistemas diseñados para la detección de fuego (Töreyn, 2007).

Los sistemas de detección y supresión de fuego deben cumplir con operaciones muy precisas y necesitan inspecciones y mantenimientos rigurosos para su correcto funcionamiento. Los equipos más comunes involucran grandes presiones en contenedores y también equipos eléctricos, neumáticos y/o mecánicos expuestos a sustancias adversas. Al ser equipos generalmente complejos, agregan un factor de riesgo adicional en el control de incendios.

El objetivo principal de este trabajo propone la modificación de los sistemas instalados actuales mediante el diseño de un accionamiento inalámbrico para la aspersión de polvo químico seco y la reducción del tamaño de los tanques de almacenamiento de este, con el fin de hacer al sistema más manipulable. Esta modificación del diseño inicial permite que el sistema se haga más confiable y menos robusto.

El trabajo de modificación y diseño contará con tres partes preliminares. Se implementará un nuevo mecanismo de rotura del sello del cartucho de gas expelente que actúe de forma al recibir la señal de radiofrecuencia. El diseño de un nuevo tanque más compacto que permita la movilidad del sistema y facilite también el mantenimiento. Por último, el uso de señales de radiofrecuencia para comunicar el módulo de control que recibe la señal de alerta de incendio, con el mecanismo de actuación que libera el gas y circula junto con el polvo.

2. Planteamiento del problema

Las estadísticas sobre incendio en maquinaria pesada son alarmantes. Ciertas maquinarias industriales tienden a usar sistemas de combustión interna, altos voltajes y exposiciones a la intemperie. Estas condiciones propician la aparición de incendios que pueden provocar una pérdida total de la maquinaria las cuales son condiciones indeseables para su operación. Por esta razón se deben desarrollar sistemas confiables que sean capaces de contener de manera efectiva estos altercados (Meacham, 2014).

Los vehículos pesados en la industria minera soportan grandes períodos de actividad bajo condiciones extremas, poseen sustancias inflamables (combustibles, lubricantes, fluidos hidráulicos, etc.), trabajan también con materiales combustibles o reactivos. Por esto, es prioritario que estas máquinas cuenten con sistemas de detección y supresión de incendios que funcionen efectivamente.

El factor humano también influye en la contabilización del riesgo asociados a incendios. Los estándares para la prevención de riesgos y mitigación de desastres deben ser estrictos para asegurar la supervivencia del personal operario. Uno de los principales elementos necesarios para la prevención y mitigación es la confiabilidad de los sistemas la cual puede ser lograda de varias maneras, diseñando sistemas a prueba de fallos o teniendo equipos redundantes, esta última implica tener mayor complejidad en los sistemas ya que el número de componentes aumenta, y adicional mayores costos de mantenimiento y operación.

Durante los últimos años, la empresa (NOMBRE) ha intentado migrar de sistemas mecánicos, hidráulicos, o neumáticos, a sistemas eléctricos y/o electrónicos. La facilidad que ha integrado el internet de las cosas (*IoT*) en la industria permite un monitoreo y control más efectivo sobre estos últimos sistemas (Lay, 2014). Inspirados en estas tecnologías, nace la interrogante: ¿De qué manera se pueden implementar modificaciones en los sistemas tradicionales de detección y control de incendios en los camiones pesados que reduzcan sus riesgos y tiempos de reacción, para que así puedan ser más versátiles en su movilidad y mantenimiento?

3. Antecedentes

A modo informativo, un informe publicado en (Carter, 2013) se narra el incendio ocurrido en una excavadora hidráulica trabajando en una mina. La máquina en cuestión no contaba con un sistema automático de supresión de incendio y, a pesar de estar equipada con dos extintores a los costados, no se pudo acceder a ellos para combatir el incendio. En el informe posterior se concluyó la encarecida necesidad de instalar estos sistemas en todos los vehículos operativos en la mina. Como es claro, su implementación diferencia grandes pérdidas de accidentes controlables.

Sin embargo, la misma fuente menciona que no parece haber una diferencia significativa en el número de incendios reportados en equipos más antiguos en contraposición a modelos más nuevos. Se puede deber en parte a nueva tecnología de motores que involucre mayores presiones en las líneas de líquidos y mayores temperaturas operacionales. Resaltando además el hecho de que muchos sistemas no son instalados de fábrica, sino que se instalan postventa.

Sin embargo, desde el siglo pasado, en conjunto con la aplicación de maquinaria pesada, también se ha previsto la creación de sistemas capaces de combatir los contratiempos posibles durante la operación, dentro de estos, los relacionados con posibles explosiones o incendios, al estar usando elementos inflamables inherentes en el funcionamiento de los equipos. El presentado a continuación constituirá un ejemplo de las muchas otras patentes alrededor del mundo que buscaron responder ante la problemática propuesta en este documento.

Lease (1972) se diseña un sistema de supresión a prueba de choques utilizado en maquinarias pesadas, como tractores, barredores u otros equipos que contiene rociadores de material extintor transportados por tuberías con difusores. Incluye también una batería que alimenta el circuito del sensor que actúa una válvula solenoide, liberando CO₂ por medio de la penetración de un diafragma. Este proceso presuriza una cámara con agente extintor que es descargado por la tubería. Este diseño tendría posteriormente la buena recepción y adaptación de muchos otros, modernizados y ajustados a cada industria especializada.

El balance de accidentes en Colombia, para el año 2020, indica un porcentaje de 11.2% (15) de generación de accidentes por incendios en minas, un valor que anualmente ha presentado incrementos. Aunque este año ha habido mayor preponderancia de accidentes por derrumbes o atmósfera viciada, como se indicó anteriormente, los accidentes por incendios en minas, en especial máquinas pesadas siguen siendo un riesgo que debe ser controlados. (Ministerio de Minas y Energía, 2020)

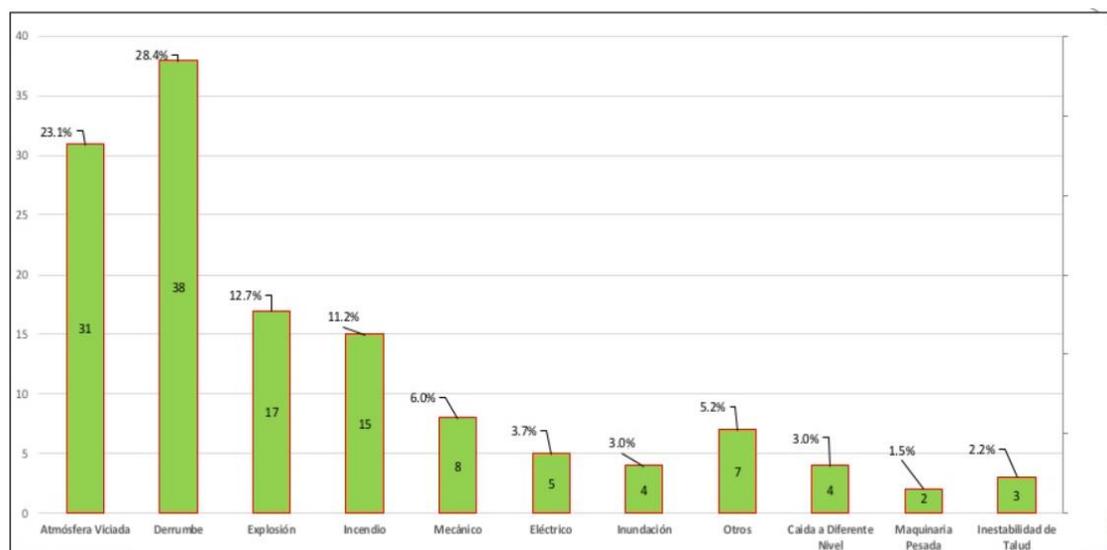


Figura 3.1. Porcentaje de accidentes presentados en Colombia durante el 2020, corte en 19/11/2020

4. Marco teórico

En este capítulo se documentará, de manera sistemática toda la información relacionada a la identificación y medidas de acción a tomar en caso de incendios; qué sustancias existen hoy para combatir el fuego en sistemas contraincendios y qué mecanismos se utilizan comúnmente en estos sistemas y su funcionamiento generalizado.

Para la producción de fuego, se necesitan de tres componentes principales: la presencia de una forma de ignición (calor), oxígeno, el cual está presente en la atmósfera y una sustancia combustible, que mantendrá la generación de fuego mientras se consume. Estos elementos conforman el llamado triángulo de fuego. Recientemente se incluyó otro nuevo factor, que agrega una dimensión más al antiguo triángulo: Reacción en cadena, referida a la capacidad de propagación que los demás agentes tienen en proporción a otro (Esplugas & Pitarch, 2018). Un incendio entonces será la producción descontrolada de fuego debido a la abundancia de combustible o la dificultad para contrarrestarlo. La tabla 1 muestra distintas clases de fuegos producidos según su combustible.

Tabla 4-1
Clases de Fuego según su combustible. Tomada de: (Esplugas & Pitarch, 2018).

CLASE FUEGO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Clase A	Materiales sólidos, generalmente de naturaleza orgánica, cuya combustión se realiza normalmente con la formación de brasas	Madera, carbón, papel, caucho, etc.
Clase B	Líquidos o sólidos licuables	Gasolina, aceites, grasas, alcohol, cera, parafina, etc.
Clase C	Gases	Acetileno, butano, propano, gas natural, etc.
Clase D	Metales	Sodio, potasio, aluminio en polvo, magnesio, etc.
Clase F	Derivados de la utilización de ingredientes para cocinar (aceites y grasas vegetales o animales) en los aparatos de cocina.	Aceites y grasas vegetales o animales

Como se ve, en industrias como la minería todas las clases de fuego mencionadas anteriormente pueden ser generadas. Sin embargo, para fines de limitación de trabajo, sólo se dedicará el esfuerzo a tratar las clases A, B, C y D, ya que serán más probables en motores de combustión, neumáticos o equipos hidráulicos, todos presentes en máquinas pesadas.

4.1 Mecanismos de extinción

En principio, se hablan de cinco tipos de mecanismos de extinción: Eliminación, enfriamiento, sofocación, aislamiento del combustible, inhibición. A continuación, se especifica un poco acerca de ellos. La información obtenida a continuación fue recopilada de (Villanueva, 1984).

4.1.1 Inhibición

Neutralizando radicales libres de combustión es posible también detener el fuego. Antes de que interactúen nuevamente los radicales libres con los productos de combustión, la reacción de cadena es detenida. La descomposición térmica de halones provoca la inhibición química de la reacción en cadena.

4.1.2 Eliminación

Cuando el combustible es eliminado cerca de las zonas de fuego, este se extingue al consumirse el remanente de combustible en ignición. Se puede realizar cortando el flujo de gases o líquidos combustibles, o retirando contenedores que los alberguen. O también de forma indirecta, refrigerando los combustibles alrededor de la zona.

4.1.3 Enfriamiento

La energía liberada durante la combustión alimenta nuevo combustible, así como también se disipa en el ambiente. Si se elimina rápidamente esta energía, el fuego se extinguirá luego de consumir su combustible. Esto se puede conseguir dirigiendo sustancias que absorban energía ya sea por descomposición o cambios de estado. El agua pulverizada o mezclada con aditivos enfriadores es básicamente la única forma de apagar incendios por este mecanismo.

4.1.4 Sofocación

Uno de los elementos cruciales de la combustión es el oxígeno. Si se interrumpe del contacto entre combustible y aire, recubriendo este con un material que no sea combustible. También se puede obstruir el acceso de oxígeno a la zona de fuego. O también diluyendo la mezcla de oxígeno agregando N_2 o CO_2 en suficiente cantidad para disminuir la cantidad de oxígeno necesaria para la combustión.

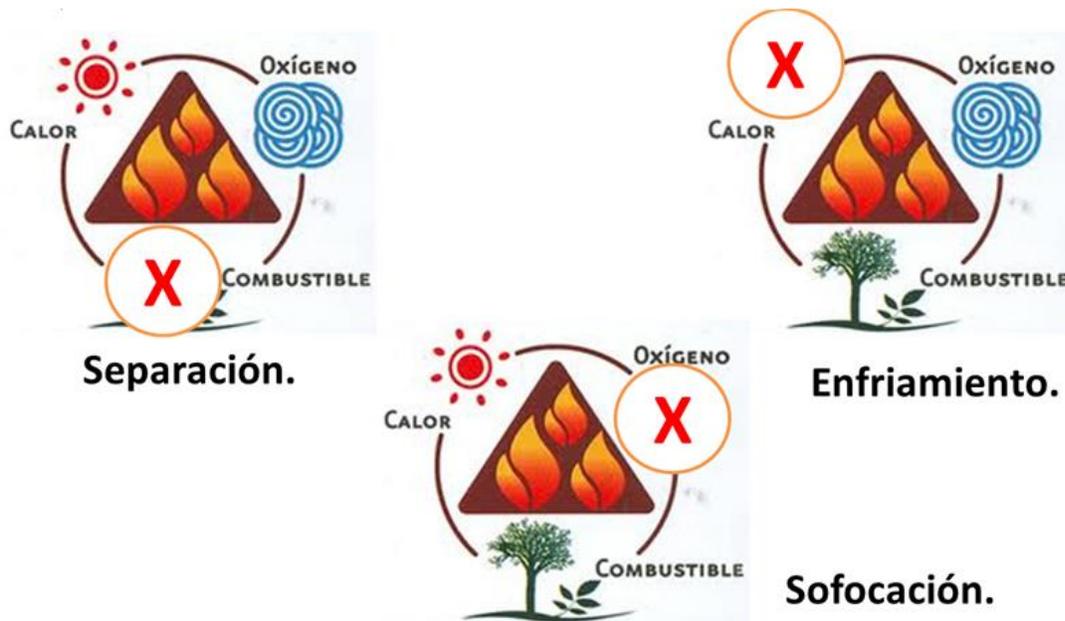


Figura 4.1. Mecanismos de extinción de incendios: separación, enfriamiento y sofocación. En cada uno se priva al fuego de un elemento necesario para producirlo Tomado de: (SatirNet Safety, 2014)

Los tres últimos mecanismos de extinción se ilustran en la Figura 4-1. Como se ve, la inhibición o aislamiento de cualquiera de estos elementos del fuego, mitigará la generación de nueva combustión. Para cada uno de estos mecanismos existe un agente extintor que permite cumplir con esta función.

4.2 Agentes extintores de fuego

Para combatir el fuego, existen equipos especializados llamados extintores. Los extintores lo comprenden todos aquellos dispositivos que contienen un agente capaz de combatir el conato de incendio generado. Este agente extintor se dirige sobre el fuego gracias al

aumento de la presión por compresión del agente o por inyección de un gas auxiliar. La selección del extintor adecuado dependerá de la clase de fuego originado, es decir, según los combustibles presentes, pero también a la actividad que se esté realizando en el área.

Tabla 4-2

Clases de fuego y agentes extintores más recomendados para combatir a cada uno. (Tomada de: (Esplugas & Pitarch, 2018)).

Agente extintor	Clase de fuego (UNE EN 2)				
	A Sólidos	B Líquidos	C Gases (1)	D Metales	F Grasas y aceites para cocinar
Agua a chorro (2)	ADECUADO				
Agua pulverizada (2)	EXCELENTE	ACEPTABLE			
Espuma física (2)	ADECUADO	ADECUADO			
Polvo ABC (Polivalente)	ADECUADO	ADECUADO	ADECUADO		
Polvo BC (convencional)		EXCELENTE	ADECUADO		
Polvo y otros productos específicos para metales				ADECUADO	
Anhidrido carbónico (3)	ACEPTABLE	ACEPTABLE			
Hidrocarburos halogenados (3) (4)	ACEPTABLE	ADECUADO			
Productos específicos para fuegos de grasas y aceites para cocinar (5)					ADECUADO

La tabla 2 relaciona los agentes extintores principalmente utilizados con el área afectada en donde se esté generando el incendio. Como se hizo anteriormente, sólo se desean especificar los de las clases A, B y C. Dentro de estos, los agentes de Polvo polivalentes y convencionales comparten un rendimiento *adecuado* para estas clases, por lo que se centrará la vista en ellos. Una vez se ha identificado el fuego, es necesario conocer qué tipo de mecanismo de extinción se va a aplicar; es aquí donde uno u otro agente tiene mayor provecho.

La información recopilada se extrajo de las fuentes: (INACAP, 2006) y (ISASTUR, 2010)

4.2.1 Agua líquida o pulverizada

Extingue el fuego enfriándolo. El intercambio de calor entre el material combustible y el agua producirá vapor gastando la energía interna de la reacción. El agua puede estar en

forma líquida, en caso tal se usaría apropiado usarlos para fuegos CLASE A. Se evitan usar en fuegos originados CLASE C porque el agua favorece la conducción eléctrica, promoviendo descargas eléctricas.

4.2.2 Gas carbónico (CO₂)

El CO₂ es un gas inerte utilizado para sofocar el fuego reduciendo la cantidad de O₂. Estos extintores de anhídrido carbónico sirven para extinguir fuegos producidos por líquidos inflamables (CLASE B) y en equipos eléctricos (CLASE C).

Dentro de los contenedores, este gas es comprimido y se encuentra en estado líquido, cuando se activa el contenedor, el CO₂ se expande, convirtiéndose nuevamente en gas. Durante este proceso, la temperatura del gas disminuye drásticamente, actuando también como enfriamiento.

4.2.3 Polvo químico seco

Es un compuesto químico que actúa por sofocación e inhibición de la reacción en cadena. Se usan dos tipos, químico seco convencional o polivalente. La diferencia reside en que el último enfría mucho más el combustible, siendo más efectivo para fuegos CLASE A, B y C. Estos polvos son los únicos útiles contra fuegos CLASE D, puesto que se preparan para actuar adecuadamente con los metales inflamables.

Los polvos químicos suelen no ser tóxicos, pero sí pueden provocar problemas respiratorios y obstruyen la visibilidad por lo que no es aconsejable usarlo sobre personas afectadas por fuego. Generalmente están compuestos por bicarbonato de sodio, bicarbonato potásico, bicarbonato de urea-potasio, fosfato monoamónico y cloruro de potasio.

4.2.4 Espumas químicas y físicas

Las espumas químicas son formadas por soluciones ácidas y básicas que producen CO₂, aumentando la presión y proyectando espuma. Además, durante la unión de estas soluciones se genera agua. Por otro lado, las espumas físicas son formadas por burbujas

de agua unidas con un estabilizador, lo que crea una capa aislante encima del fuego, evitando que entre en contacto con el oxígeno y enfriándolo, además.

La desventaja principal de estas espumas es que suelen ser conductoras y reaccionan con los metales, por lo que no funcionan sobre fuegos CLASE D. Las espumas son más eficaces contra fuegos CLASE B, pero se diluyen en hidrocarburos solubles en agua.

4.3 Principio de funcionamiento de sistemas vehiculares de detección y supresión de fuego

El funcionamiento de sistemas automático de detección y contención de incendios comunes consta de las partes enumeradas en la figura 4-2. Una vez es detectado el fuego por el cable detector (sensor térmico), se envía una señal al módulo de control que interpreta la zona de alta temperatura como una fuente de fuego. El módulo luego activa un detonador que libera gas contenido dentro de una cápsula y presuriza el depósito de polvo. Este polvo viaja con la presión del gas y se distribuye a través de difusores de material en la zona expuesta. El sistema cuenta generalmente con alarmas lumínicas y sonoras y un panel de control para visualizar y manipular el sistema en modo manual (Inderfor, n.d.).

4.3.1 Cable de detección

Es un cable de capacidad térmica de dos conductores. Estos cables funcionan a temperaturas nominales de 105°C o 180°C, dependiendo del formato de junta de los conductores. Al estar expuesto a temperaturas superiores, se derretirá su cubierta y cerrará un circuito conectado al módulo, que reconoce esta señal y activa el detonador.

4.3.2 Módulo de control

Es el encargado de dirigir e interpretar las fuentes de posibles incendios. Las conexiones eléctricas necesarias también pasan por el módulo, envía las señales de las alarmas y administra el panel de control de usuario. También proporciona la energía eléctrica para el mecanismo de accionamiento.

4.3.3 Mecanismo de accionamiento

Luego de que el módulo envíe la señal de detección. Un detonador es el encargado de subir la presión dentro de la cápsula, empujando un émbolo que lleva una punta que penetra un diafragma. El gas liberado ahora se inyecta. Luego, se transporta el gas presurizado al contenedor de polvo. La detonación puede ser generada por una chispa eléctrica. Usualmente se incluye métodos manuales de activación. Al tirar de un pasador o presionar un actuador manual, se realiza la perforación.

4.3.4 Detonador

Es un componente detonado eléctricamente que contiene una pequeña carga explosiva de pólvora. Cuando el circuito de detección funde y activa el circuito, un puente cableado interno en el detonador se calienta haciendo que la carga detone. Una aguja rompe el seguro de la cápsula soltando el gas.

4.3.5 Tanque de reserva de agente extintor

El reservorio de polvo está construido en el material necesario para contener presiones superiores a 1MPa en periodos cortos de tiempo. Los contenedores usuales suelen ser de 2 litros de capacidad. Cuenta con boquillas que eyectan el polvo ahora mezclado con gas inerte que se expulsa y distribuye la mezcla hasta difusores.

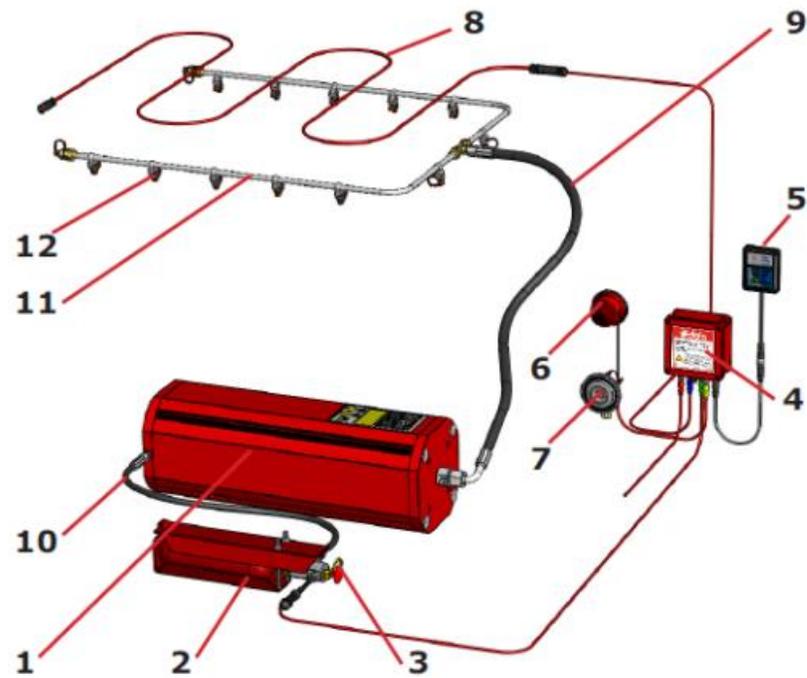


Figura 4.2. Esquema general de sistema de detección y contención de incendios en vehículos pesados. Cada parte se encuentra enumerada. (Tomada de: (Inderfor, n.d.))

5. Estado del arte

En el presente estado del arte se presentan algunas investigaciones base de cómo ha avanzado el conocimiento científico y de ingeniería en el desarrollo del tema que se expone en este trabajo, investigaciones paralelas acerca de los cuales son los sistemas contra incendios para vehículos móviles, el manejo de los incendios en los equipos de minería y los sistemas de comunicación inalámbricos. Esto permite dimensionar hasta qué punto ha avanzado la tecnología hasta ahora y encaminar nuestra investigación.

En el sector minero es común el uso de maquinarias de gran tamaño cuyos incidentes como lo son los incendios son proporcionales al tamaño de la maquinaria, y por esta razón se debe contar con un sistema de contención igual de robusto para que sea efectivo (Ikeagwuani & John, 2013). Para este caso en particular se planteará una modificación del diseño del sistema de aspersión de incendios LTA 101-30. Este sistema de contención de incendios consta de 2 partes principales, la parte de detección y la parte de contención.

En la parte de detección se tienen inicialmente un módulo *checkfire* que recibe la señal de 3 tipos de sensores térmicos; un cable sensor, unos detectores de calor puntuales y un detector triple IR, en base a la lectura de estos sensores el módulo *checkfire* toma la decisión de accionar o no el sistema de aspersión de polvo químico seco. Si el módulo acciona los extintores se pasa a la parte de contención.

La parte de contención inicia con un cartucho de nitrógeno que puede ser accionado ya sea manualmente o por el módulo *checkfire*, este cartucho envía nitrógeno presurizado a los tanques de gas expelente rompiendo el sello de contención, cada uno de estos tanques envía el gas expelente a cada depósito de polvo químico seco, en este punto se mezcla el gas con el polvo químico seco y se libera esta mezcla que se comporta como agente extintor.

Como se puede evidenciar la operación del sistema de contención de incendios posee una alta complejidad para su accionamiento, el cual además en todas sus fases posee elementos que pueden fallar, como por ejemplo el hecho de que no se distribuya el

nitrógeno a cada una de las capsulas debido a la gran longitud de estas líneas de distribución, o que bien el sello de la primera capsula de nitrógeno no rompa (Lay, 2014).

Aportes en la solución de sistemas de extintores en vehículos se emplean actualmente en diversas aplicaciones, modificando también dicha tecnología para hacerla más eficiente respecto a las condiciones operativas. De entre los muchos sistemas patentados, este trabajo toma como inspiración los aportes de (Thomas, 2000), (James, 2001), (McSheffrey, 2010), los cuales se describirán a continuación.

El sistema de extinción de fuego diseñado para vehículos por Thomas incluye un solenoide o un detonador que acciona la cápsula que contiene el gas que presuriza el contenedor del agente extintor y lo transporta por tuberías hacia las boquillas de salida. Cuenta con una caja de control con indicadores con los que el usuario podrá interactuar. El interesante anexo de desmontar el pistón y cambiar el mecanismo de rotura de sello agrega mayor versatilidad a este diseño, que normalmente no sería distinto a lo tradicional.

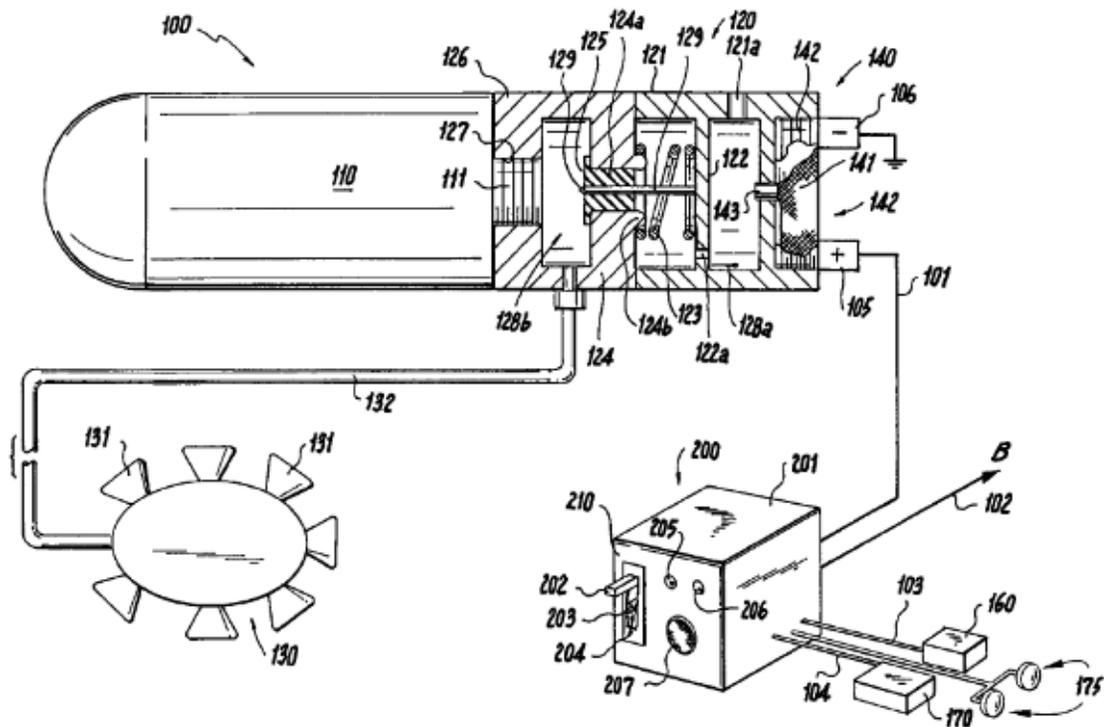


Figura 5.1. Sistema de extinción de fuego patentado por Thomas (2000).

Otro muy ingenioso invento es presentado por James (2001). Este consta de un tanque que lleva integrado el mecanismo de accionamiento del gas presurizado el cual se conecta al detector de fuego mediante un módulo electrónico. La ventaja de este diseño claramente reside en el espacio ocupado, adicionalmente puede utilizar una señal eléctrica que funciona incluso cuando se pierda el flujo normal de corriente. El contenedor y la cápsula están diseñados para contener CO₂, el cual lleva el agente extintor hacia un sistema de spray que proyecta el material a la zona afectada.

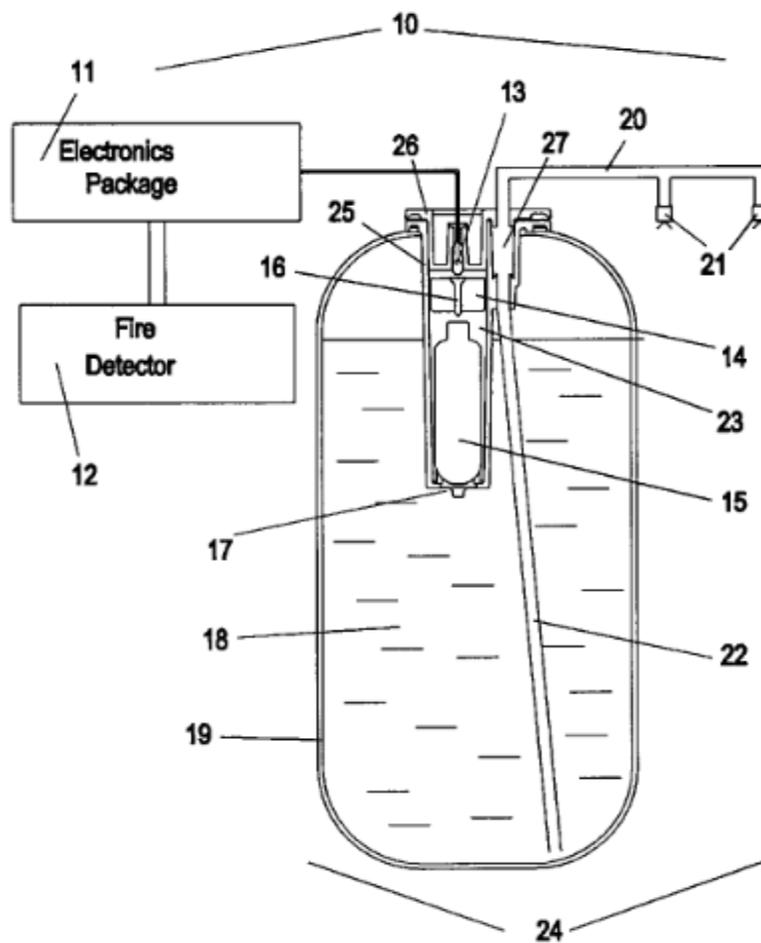


Figura 5.2. *Patente desarrollada por James (2001). Se ve un sistema de extinción compacto con la cápsula de gas presurizado al interior del contenedor de agente extintor.*

Otra investigación donde se implementa el uso de un sistema presurizado por nitrógeno es en:

Sánchez Ocaña, Luis. "Diseño de un sistema automatizado para apagar incendios en el compartimento del motor de 248 buses articulados de transporte público". Informe de suficiencia. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú, 2014.

En este trabajo el autor buscó la solución a el incremento del incendio de buses articulados de la flota de transporte público “El metropolitano”, en la ciudad de Lima-Perú. Se trata de la adecuación de un sistema contra incendios para vehículos. En este trabajo el autor realizó la selección del agente extintor, la selección de los equipos de catálogos comerciales, la creación de los planos de fabricación y la ubicación del sistema dentro de los autobuses. (Sanchez Ocaña, 2014).

Este trabajo aporta relevancia a esta investigación por la forma en que el sistema se distribuye a través de los autobuses. El sistema extingue los incendios por medio de nebulización de agua, la cual es presurizada por un gas inerte, en este caso se usa nitrógeno. En la siguiente imagen se muestra la configuración del sistema.

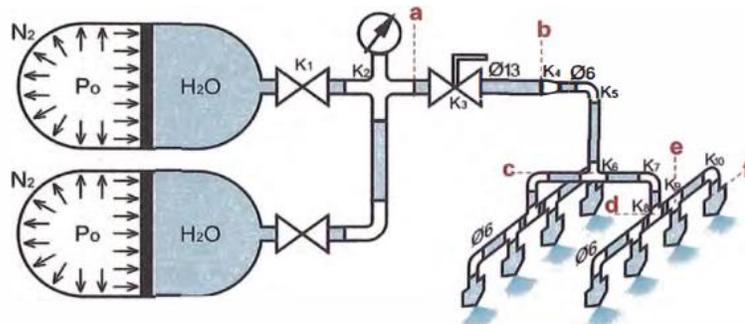


Figura 5.3. Esquema del sistema de descarga del agua nebulizada (Sánchez Ocaña, 2014).

A continuación, se muestra la ubicación del sistema contra incendios.

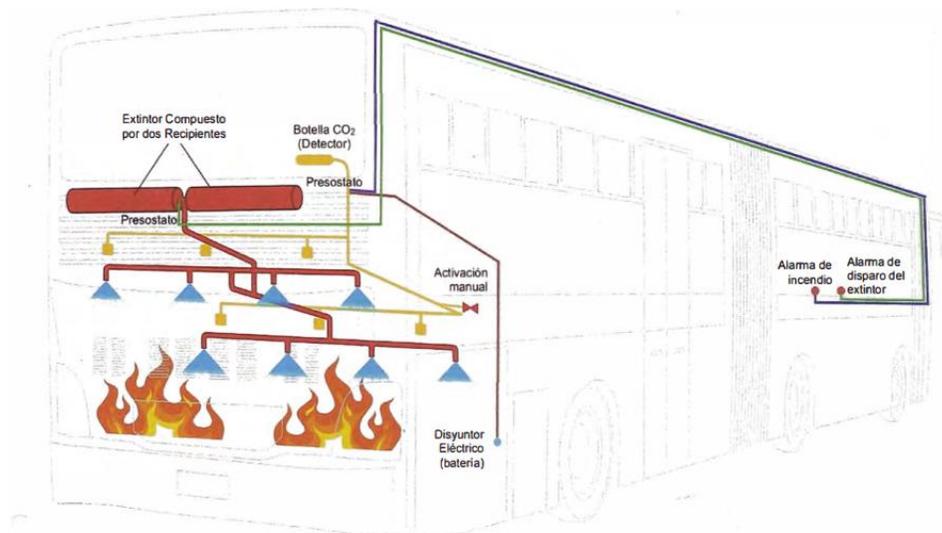


Figura 5.4. Diagrama de ubicación de los sistemas detector y extintor dentro del bus articulado. (Sánchez Ocaña, 2014).

En esta investigación el método de activación de los disparadores es por medio de un tipo elemento fusible, muy usados como protectores térmicos para casos de incendios en los tanques de GNV para automóviles. Consiste en un tapón de material eutéctico, fusible a 160 °C, que obtura la descarga de la línea, permanente presurizada con gas inerte (por lo general CO₂ a 15 Bar). En un incendio al superar los 160°C la temperatura alrededor del detector; el material eutéctico se fundirá y escapará el CO₂, haciendo caer la presión. Esto se aprovecha mediante un pistón neumático de simple efecto, con recuperación por resorte, para abrir la descarga del agente extintor.



Figura 5.5. Detector fusible de calor (Sánchez Ocaña).

Otra investigación es la realizada por la revista *Contra incendio*.

Hernández, I. **“Protección para vehículos en minería”**. Revista. 22 de febrero de 2018. (Hernandez, 2018, p. 3)

En cuanto a los sistemas de protección contra incendios en la industria minera, una de las empresas que más profundizado en la investigación y desarrollo de estos sistemas es ANSUL. Es una empresa norteamericana fundada en 1915 que se dedica a la fabricación y distribución de sistemas para la protección contra el fuego en distintos contextos operacionales, uno de ellos es la protección para equipos móviles de la industria minera. ANSUL introdujo los sistemas de protección en los años 60, por lo que se ha avanzado mucho en la experiencia y pruebas a través de los años para perfeccionar el desempeño de los sistemas.

Las partes más importantes en las que se enfocan estos sistemas son el monoblock del motor, los turbocargadores (turbocompresores), el manifold o múltiple de escape, las áreas hidráulicas, baterías y frenos, tal como se muestra en la siguiente figura:

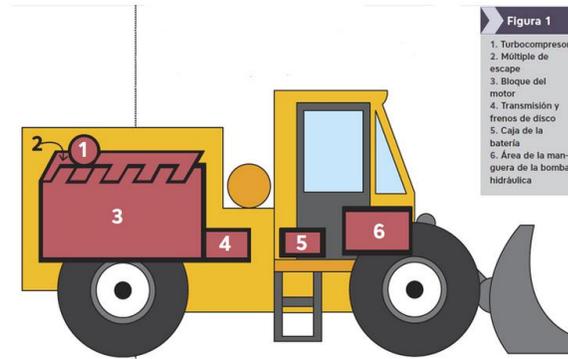


Figura 5.6. Áreas de incendio típicas de un vehículo (Hernández, I)

Originalmente los sistemas de protección se componen de cilindros con polvo químico seco, conocido como FORAY, en el caso de ANSUL. La cantidad de agente se define de acuerdo con los parámetros de protección que se hallan identificado y el tamaño para el vehículo determinado. Estos deben estar ubicados en una zona segura, libres de obstrucciones y que no interfiera con la operación del vehículo.



Figura 5.7. Sistemas de supresión de incendios (Ansul)



Figura 5.8. Sistema de Polvo Químico Seco A-101 (Ansu)

A finales de 1998, nuevamente Ansul introdujo en la industria un nuevo agente extintor en forma líquida, que llamó LVS (*Liquid Vehicle System*) y vino a complementar el agente extintor tradicional de polvo químico. La ventaja que ofrecía el LVS era que su forma líquida contribuye al enfriamiento, bajando la temperatura del área afectada, y previniendo la reignición, lo cual es una limitación en los sistemas de polvo químico.

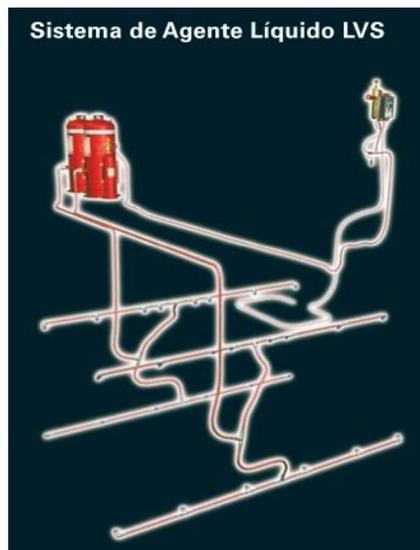


Figura 5.9. Sistema de agente líquido LVS (Ansul)

Actualmente, dependiendo del tipo de vehículo, se pueden tener combinación de los sistemas para proteger las unidades, se les conocen como sistemas de doble agente (Polvo Foray y LVS).



Figura 5.10. Sistema de Agente Doble A-101/LVS (Ansul)

Cada vehículo tiene una configuración de red de incendio dependiendo de su tamaño, Ansul opta por cubrir las áreas como el motor y el banco de baterías en instalaciones grandes tal como se muestra en la imagen.

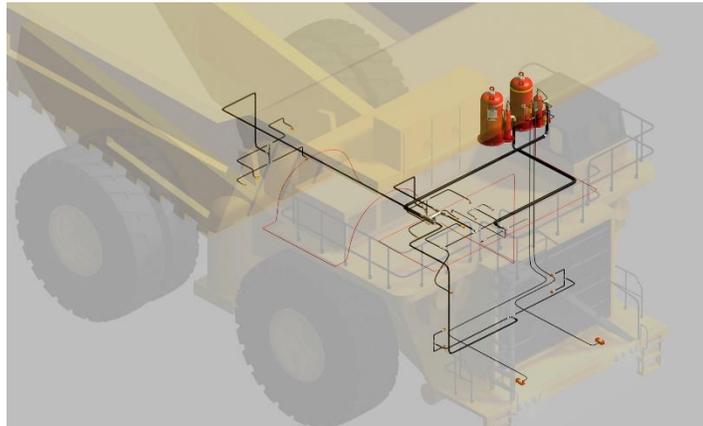


Figura 5.11. Vehicle Fire Suppression System – Ansul LVS-101 Large Installation

Otra de las empresas que ha investigado en el desarrollo de los sistemas contra incendios es la empresa estadounidense FIRETRACE fundada en 1980, en 2018 lanzaron su sistema Firetrace, es un sistema de extinción automática, que consiste en detectar el fuego directamente de forma automática con elementos físicos.

El sistema consiste en una botella presurizada conectada a un tubo de polímero, que se va a romper al quedar expuesto a una flama.

Existen dos tipos de sistemas firetrace:

5.1 Sistema directo Firetrace

El sistema directo utiliza el tubo detector como dispositivo detector de incendios y como sistema de descarga del agente extintor. El tubo se instala en las áreas de riesgo y alrededor de ellas. Cuando ocurre un incendio, el tubo reventará en el punto de mayor calor y formará una “boquilla” de descarga. Entonces, el agente sale a través del lugar en el que reventó y el tubo extingue el fuego.



Figura 5.1.1. Sistema Directo Firetrace (Firetrace USA)



Figura 5.1.2. Tubo detector Firetrace (Firetrace USA)

5.2 Sistema indirecto Firetrace

El sistema indirecto usa el tubo solo como dispositivo de detección. Cuando el tubo se rompe, el agente extintor se libera a través de una red de manguera hidráulica o de tubo de acero inoxidable y va hacia boquillas ubicadas dentro del recinto, los sistemas indirectos de firetrace también poseen un sistema de activación manual.

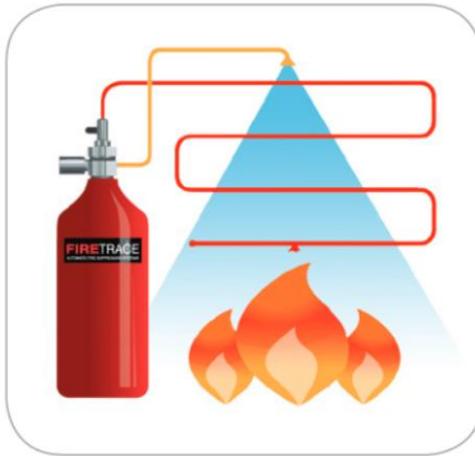


Figura 5.2.1. Sistema indirecto Firetrace (Firetrace USA)

5.3 Accionamiento remoto

Algunas empresas como *Muster*, han honrado en el desarrollo de sistemas con accionamiento remoto para los motores de los vehículos de minería, incluyendo alarmas automáticas y válvulas de descarga automática, tal como se muestra en la siguiente imagen.

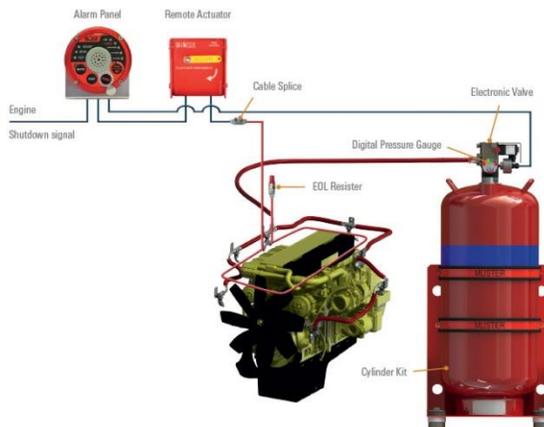


Figura 5.3.1. Sistema de supresión de incendios Muster (Morse Hidraulic System)

Estos desarrollos buscan la activación remota desde puntos externos al vehículo incendiado, tal como lo propone la empresa *FSS* en su módulo de activación remoto para retroexcavadoras de mediana envergadura. Se muestra a continuación.

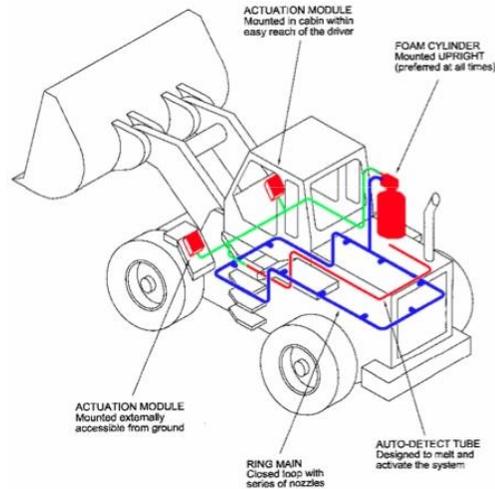


figura 5.3.2. Diagrama del módulo de activación (FSS)

5.4 Accionamiento por radiofrecuencia

La activación de los sistemas durante los últimos años ha sido de forma manual o neumática. Últimamente con el avance de la tecnología la industria minera ha optado por implementar la activación automática debido al gran riesgo que corre el personal al momento de presentarse los incendios.

Comercialmente se pueden encontrar una gran variedad de dispositivos de comunicación inalámbrica, así como de protocolos, en los que se pueden encontrar, *WiFi*, *Bluetooth*, *LoRa*, entre otros. Estos protocolos poseen ciertas ventajas acorde con la aplicación, hay ciertos parámetros relevantes a la hora de seleccionar un protocolo de comunicación apropiado entre los que se encuentran, tasa de bits para cuando se deben enviar una gran cantidad de datos, potencia de transmisión para tener un mayor rango de transmisión, costo y compatibilidad.

No es extraño que los sistemas de control han tomado gran importancia en la industria en general, sobre todo en las aplicaciones donde la seguridad de los operadores es una prioridad, en el campo de la minería los vehículos se encuentran en condiciones de mucha volatilidad y son propensos a incendiarse, por eso varias investigaciones se han enfocado

en la implementación de la radiofrecuencia en la detección y mitigación del fuego, esto garantiza la operación de una manera segura.

La comunicación por radiofrecuencia funciona creando un campo electromagnético en el transmisor el cual genera una onda electromagnética que es decodificada (demodulada) en otro lugar. Aunque actualmente la comunicación RF se usa como sinónimo de señales inalámbricas de alta frecuencia, lo que engloba infinidad de cosas, desde la radio en redes de área local LAN, tradicionalmente la comunicación RF engloba solo frecuencias de unos pocos kHz a 1 GHz. (Hernandez martinez, Torres Garcias, & Nieto Garcia , 2016)

La investigación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en las que se implementa la radio frecuencia para controlar robots que apaguen los conatos de incendio. Sandoval, S. Peralta, B. Infante, W. **“Robot móvil para la detección y extinción de conatos de incendio ‘vulcanobot’”**. Tesis de grado. Universidad Distrital Francisco José de caldas. 2015. Bogotá. (Sandoval, Peralta, & Infante, 2015)

En esta investigación se utilizó la tarjeta arduino para controlar las señales de radio frecuencia emitidos por los sensores del robot.

Además del arduino la radiofrecuencia se utiliza en sistemas más robustos e industriales como los son los PLC.

Pérez Tovar, F. Huerta Aguilar, A. **“Telemetría y Radio Control para PLC”**. Artículo. Escuela Superior de Tizayuca. En esta investigación se presenta el diseño y desarrollo de un sistema electrónico y telemetría, con microcontroladores para conexión a un controlador lógico programable (PLC) de gama media. Un sistema con interfaz que permite la supervisión y manipulación de manera remota de variables digitales y analógicas que son usadas por un PLC. (Perez Tovar, Huerta aguilar, & Quezada Quezada, 2009).

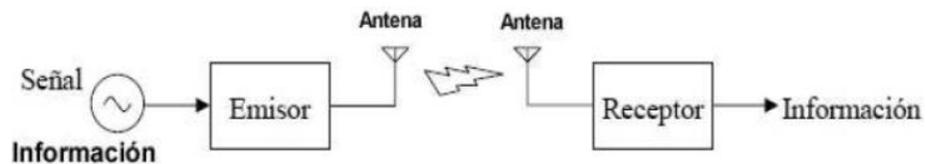


Figura 5.4.1. Transmisión de datos (Martinez Hernandez)

La desventaja que presentan los sistemas convencionales de control remoto es que la comunicación es alámbrica, esto acarrea complejidad en la instalación de los sistemas. La ventaja que se tiene con radio frecuencia es el alto alcance de la comunicación, estos sistemas son menos propensos a fallos.

Todas estas investigaciones encaminan nuestro trabajo a la unión de las tecnologías de supresión de incendio y los avances de la tecnología de accionamiento y control por radiofrecuencia, este trabajo se enfoca no solo a los tipos de agentes supresores (polvo químico, agentes líquidos o agentes líquidos), sino que también debemos considerar los tiempos de detección del fuego, el tiempo de respuesta en la extinción del mismo. Algo muy importante a considerar es el costo de mantenimiento asociado a los sistemas convencionales, al diseñar sistemas más prácticos y portátiles que requieran de menor mantenimiento, de menor conexiones alámbricas brinda a la empresa más economía y más confiabilidad. De estas premisas nace el objetivo principal a desarrollar en este trabajo.

6. Objetivos

6.1 General

Diseñar un sistema de accionamiento inalámbrico para la aspersión de polvo químico seco en un sistema contraincendios en camiones pesados en la industria minera.

6.2 Específicos

Calcular los parámetros necesarios para el diseño del tanque modificado del sistema de aspersión.

Implementar tecnologías de radiofrecuencia para la comunicación inalámbrica entre el depósito de agente extintor y el módulo de detección de incendios.

Seleccionar la válvula de accionamiento para el mecanismo de rotura de sello de N_2 .

Diseñar los planos para la modificación implementada del sistema inalámbrico de aspersión de polvo químico seco.

7. Metodología

Si bien para este trabajo se diseñará un sistema que sea capaz de accionar un extintor de forma inalámbrica el cual estará instalado en un camión minero y en un futuro en cualquier superficie que se quiera proteger, la construcción de este sistema no hace parte del alcance de este proyecto. Sin embargo, para el cumplimiento de los objetivos se seguirá la siguiente metodología:

Se plantea inicialmente el diseño del nuevo sistema de accionamiento que elimina el primer tanque de nitrógeno y conecta el módulo *checkfire* por medio de radiofrecuencia, para esto se debe integrar un nuevo mecanismo de rotura del sello del gas

Posterior a esto se diseña el sistema de comunicaciones adecuado para esta aplicación, el cual debe cumplir con las propiedades de inmunidad electromagnética en donde se envíen señales a una determinada frecuencia tal que no interfiera con la frecuencia de otros equipos. Para esto se cotizan comercialmente módulos RF de 315MHz o 433MHz (Escol, 2015) los cuales poseen frecuencias abiertas al público que evitan incurrir en aspectos legales respecto a su operación, estos módulos además son ideales para aplicaciones de cortas distancias y de tasas de bits bajas, en donde además se transmiten datos a potencias muy bajas, con la ventaja principal que es la de la codificación de los datos que evitan que un externo pueda accionar el mecanismo de extinción.

Finalmente se hace una integración del mecanismo de accionamiento con la parte de comunicaciones por radiofrecuencia en donde por un lado la señal eléctrica de los sensores de temperatura o bien el accionamiento manual puedan ser enviadas por el módulo de radiofrecuencia a la unidad de contención, el cual por medio de un relé activara el mecanismo de extintores si se recibe la señal adecuada.

8. Diseño del sistema de aspersión de polvo químico seco

Como se expuso previamente esta sección se basa en modificar el sistema de presurización de los aspersores en donde en un diseño original hay una capsula de nitrógeno cerca al módulo de detección y disparo que se encarga de enviar una señal para romper el sello de la capsula y así presurizar los tanques de gas expelente los cuales se mezclaran con el extintor. Típicamente estas líneas requieren un gran tamaño ya que el módulo de detección y disparo debe estar cerca de un operario que lo pueda accionar mientras que los extintores están cerca a la maquinaria propensa a incendios, por esta razón se propone el diseño que elimine la capsula de nitrógeno y sea reemplazada por un sistema de accionamiento inalámbrico que accione cada uno de los tanques de gas expelente individualmente.

Basado en esto se rediseña la capsula de gas expelente que se pueda adaptar al accionamiento inalámbrico. Esta nueva capsula debe contener líneas presurizadas iguales al diseño original que lleven el gas hasta el extintor y que además almacene la misma cantidad de gas de la misma manera que la capsula original. Adicional a esto se incluye un nuevo sistema basado en pólvora que logre romper el sello de la capsula para así liberar el gas expelente, para este caso dado que la señal de accionamiento viene de un sistema eléctrico, teniendo en cuenta esto la ignición de la pólvora es eléctrica.

8.1 Diseño del tanque de polvo químico seco

Con el objetivo de tener un sistema más compacto y dado que con la modificación planteada el sistema de aspersión mejorará en cuanto a la versatilidad de su instalación se propone una reducción en las dimensiones del tanque extintor de polvo químico seco, este nuevo tanque en conjunto del tanque de gas expelente y el sistema de comunicaciones se almacenarán en una unidad de contención más portable de fácil instalación.

El tanque de polvo químico seco originalmente posee un peso vacío de 11.3 kilogramos, un diámetro de 12 pulgadas y una altura de 23 pulgadas, en el cual se almacenan alrededor

de 28 litros de agente extintor, esta modificación consiste en una reducción del volumen del tanque para obtener un almacenamiento de 14 litros, en donde si se conserva la proporción longitud-diámetro se obtienen unas dimensiones de 18 pulgadas de largo y 8 pulgadas de diámetro interior.

Adicional a esto se diseña una unidad de contención que consta del tanque extintor, el tanque de gas expelente y el sistema de comunicaciones. Esta unidad consiste en una caja con soportes para el alojamiento de los tanques y una boquilla de salida de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro la cual se conectará directamente a la salida del polvo químico seco, en los anexos se detallará el diseño de la unidad de contención. (Estrada., 2001)

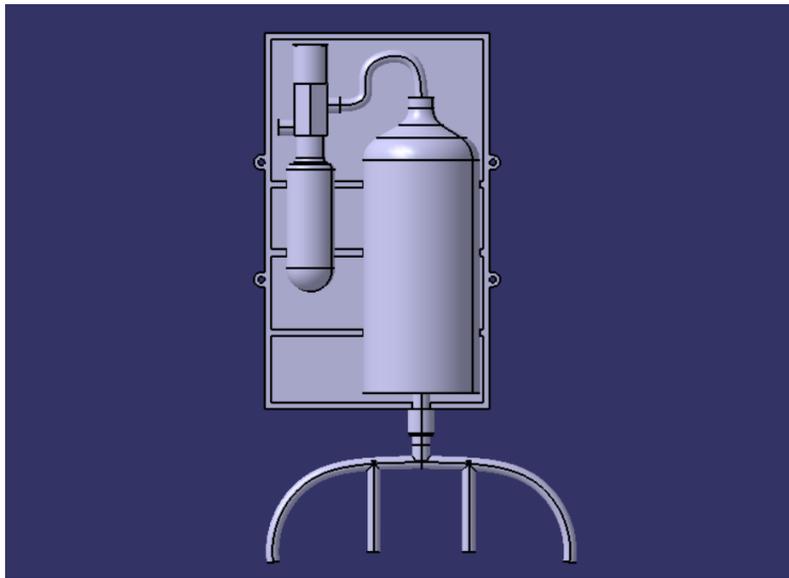


Figura 8.1. Esquema de unidad de aspersión. (Autores)

A continuación, se presentan las dimensiones originales del tanque y las dimensiones propuestas para la reducción con las cuales se realizarán los cálculos de ingeniería:

8.1.1 Dimensiones tanque original

- *Capacidad de polvo* = 11.3 kg
- *Diámetro_{TO}* = 12 in (interno)
- *Altura_{TO}* = 23 in
- *Vol_{TO}* = 28 L

8.1.2 Dimensiones tanque modificado

- *Vol_{TM}* = 14 L
- *Altura_{TM}* = 18 in
- *Diámetro_{TM}* = 8 in (interno)

El diseño del tanque de almacenamiento de polvo químico se realizará bajo la norma de la ASME VIII DIVISIÓN 1 (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), en esta parte se indican los requerimientos mínimos para el diseño de recipientes a presión, fabricación e inspección. (code, 2004).

Es la norma se encuentran las fórmulas y parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño. Se tiene en cuenta que este recipiente estará sometido a presión interna la cual es generada por la entrada de nitrógeno proveniente de la capsula.

El diseño consiste en calcular los elementos que conforman al recipiente, como el cascarón, las tapas o conos. De acuerdo con el inciso UG-27.

8.1.3 Parámetros de diseño

Según la ASME los recipientes a presión deben diseñarse para las condiciones más severas de presión y temperatura coincidentes con las condiciones esperadas en operación normal.

8.1.4 Presión de operación y presión de diseño

La presión de operación es la presión manométrica interna a la cual va a estar sometido el recipiente, en este caso el sello de cobre que se encuentra en la salida del polvo químico seco se rompe a una presión de **105 psi**, por tanto, esta presión será considerada la presión de operación del tanque en condiciones normales.

$$P_{operación} = 105 \text{ psi}$$

Según la ASME para la determinación de la presión de diseño, a la presión más severa depende de la presión de operación y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Si } P_{operación} > 300 \text{ psi, entonces } P_{diseño} = 1.1 P_{operación}$$

$$\text{Si } P_{operación} \leq 300 \text{ psi, entonces } P_{diseño} = P_{operación} + 30 \text{ psi}$$

De acuerdo con lo anterior se calcula la presión de diseño como:

$$P_{diseño} = 105 \text{ psi} + 30 \text{ psi}$$

$$P_{diseño} = 135 \text{ psi}$$

8.1.5 Temperatura de diseño

Los recipientes convencionales en las minas están sometidos a temperaturas entre 0-49°C, aunque el recipiente se encontrará dentro de una unidad de contención portable de acuerdo con la ubicación este podría estar expuesto al fuego del incendio provocando temperaturas de hasta 99° C, por tanto, es considerado un recipiente para temperatura extrema, en esta consideración está incluido el factor de servicio. Por tanto:

$$\text{Rango de emperatura de operación} = 0^{\circ}\text{C} - 99^{\circ}\text{C}$$

8.1.6 Eficiencia de la junta de soldadura

La forma más común de fabricación de este tipo de recipientes es soldando el acero, por tanto, la ASME es la sección UW define una eficiencia de junta de soldadura que influencia directamente en las fórmulas de espesor y esfuerzos permisibles del material.

TABLE UW-12
MAXIMUM ALLOWABLE JOINT EFFICIENCIES^{1,2} FOR ARC AND GAS WELDED JOINTS

Type	Joint Description	Limitations	Joint Category	Degree of Radiographic Examination		
				(a) E-4 ²	(b) E-4 ³	(c) None
(1)	Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surfaces to agree with the requirements of UW-35. Welds using metal backing strips which remain in place are excluded.	None	A, B, C, & D	1.00	0.85	0.70
(2)	Single-welded butt joint with backing strip other than those included under (1)	(a) None except as in (b) below. (b) Circumferential butt joints with one plate offset; see UW-13(b)(4) and Fig. UW-13.1, sketch (k)	A, B, C & D A, B, & C	0.90 0.90	0.80 0.80	0.65 0.65
(3)	Single-welded butt joint without use of backing strip	Circumferential butt joints only, not over 5/8 in. (16 mm) thick and not over 24 in. (600 mm) outside diameter	A, B, & C	NA	NA	0.60
(4)	Double full fillet lap joint	(a) Longitudinal joints not over 3/8 in. (10 mm) thick (b) Circumferential joints not over 5/8 in. (16 mm) thick	A B & C ^a	NA NA	NA NA	0.55 0.55
(5)	Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17	(a) Circumferential joints ^a for attachment of heads not over 24 in. (600 mm) outside diameter to shells not over 1/2 in. (13 mm) thick (b) Circumferential joints for the attachment to shells of jackets not over 5/8 in. (16 mm) in nominal thickness where the distance from the center of the plug weld to the edge of the plate is not less than 1 1/2 times the diameter of the hole for the plug.	B C	NA NA	NA NA	0.50 0.50

PART UW - WELDED VESSELS

figura 8.1.6. Tabla. Eficiencia de la junta de soldadura según la ASME UW-12

Como se observa en la Tabla 8.2.6. Se toma la eficiencia de los procesos de soldadura a tope unida con soldadura por ambos lados, o bien por otro método con lo cual se obtenga la misma cantidad de metal de aporte en ambos lados de la superficie soldada. La eficiencia se determina de acuerdo con el grado en que la junta esté radiografiada, en este caso tomamos a consideración la menor eficiencia como punto de referencia crítico, es decir cuándo:

$$E = 0.70$$

8.2 Selección del material

El material a utilizar debe cumplir varios requisitos:

- **Técnicos:** El material debe soportar las presiones a las que esté sometido, las cargas longitudinales y axiales, la temperatura de operación y la corrosión del fluido de trabajo. (Beer, 2017)
- **Económico:** El costo del material también es importante en la selección de este, pueden existir muchos materiales que cumplan con los requerimientos técnicos pero la optimización del presupuesto es fundamental.

8.2.1 Material

La fabricación de recipientes a presión se realiza comúnmente con aceros, debido a que son los más comerciales y resistentes, incluyendo en la industria minera. Proponemos el acero comercial ASTM 285 C. A continuación, se corrobora su cumplimiento en requisitos técnicos y económicos. En la siguiente tabla se muestra la composición del acero: (Giuduci., 2015)

Especificación	Descripción y uso final
ASTM/ASME SA 285 C	Recipientes estacionarios de resistencia baja e intermedia.
ASTM/ASME SA 455	Recipientes estacionarios de alta resistencia.
ASTM/ASME SA 516 60 y 70	Recipientes de media resistencia para servicio de media y baja temperatura.
NMX B-475	Recipientes a presión (esferas).
ASTM/ASME SA 612	Recipientes para carros tanque de Ferrocarril.
AAR TC-128-B	

Composición química y propiedades mecánicas

Especificación	Composición química % en peso (máximo)						Limite elástico min. KSI	Ultima tensión min. KSI	% de elong. min. en 2"	Rango de espesor
	C	Mn	P	S	Si	Ch				
ASTM/ASME SA 285 C	0.28	0.90	0.035	0.035	-	-	30	55-75	23	1
<i>Normalmente en rollos</i>										
Espeor ≤ 0.375"	0.33	0.85-1.20	0.035	0.035	0.10	-	38	75-95	15	2
Espeor > 0.375" - ≤ 0.580"	0.33	0.85-1.20	0.035	0.035	0.10	-	37	73-93	15	2
Espeor > 0.580" - ≤ 0.750"	0.33	0.85-1.20	0.035	0.035	0.10	-	35	70-90	15	2
ASTM/ASME SA 516 60										
Espeor ≤ 0.500"	0.21	0.60-0.90	0.035	0.035	0.15-0.40	-	32	60-80	21	2
Espeor > 0.500" hasta 2"	0.23	0.85-1.20	0.035	0.035	0.15-0.40	-	32	60-80	21	2
ASTM/ASME SA 516 70										
Espeor ≤ 0.500"	0.27	0.85-1.20	0.035	0.035	0.15-0.40	-	38	70-90	17	2
Espeor > 0.500" hasta 2"	0.28	0.85-1.20	0.035	0.035	0.15-0.40	-	38	70-90	17	2
NMX B-475 (1)										
Espeor > 1.875" - ≤ 1.375"	0.22	1.0-1.60	0.035	0.030	0.50	0.020-0.05	55	77-91	17	3
Espeor > 1.375" - ≤ 2.0"	0.22	1.0-1.60	0.035	0.030	0.50	0.020-0.05	53	73-87	17	3
ASTM/ASME SA 612										
Espeor ≤ 0.500"	0.25	1.0-1.50	0.035	0.025	0.15-0.50	-	50	83-105	16	2
Espeor > 0.500" - ≤ 1.0"	0.25	1.0-1.50	0.035	0.025	0.15-0.50	-	50	81-101	16	2
AAR TC-128-B										
	0.24	1.0-1.65	0.025	0.015	0.15-0.40	0.050	50	81-101	16	2

(1): Para estos grados de acero por sus requerimientos especiales, siempre se deberá solicitar una factibilidad de producción.

Figura 8.2.1. Tabla Composición acero ASTM 285 C

Ren glón N°	Forma del (2) producto	Denomi- nación	Tipo Grado Clase	Grupo N°	Tensión de rotura	Tensión de fluencia	Máxima tensión admisible (MPa), en función de la temperatura en °C												
					MPa	MPa	-30 a 40	65	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
1	Placa	SA-283	C	1	380	205	108	108	108	108	108	108	107	101	...	...	...	...	...
2	Placa	SA-285	C	1	380	205	108	108	108	108	108	108	107	101	89,1	62,6	31,6	...	...
3	Placa	SA-515	60	1	415	220	118	118	118	118	118	118	115	108	88,9	62,7	31,6	12,7	...
4	Placa	SA-515	65	1	450	240	128	128	128	128	128	128	125	118	95	63,2	31,7	12,7	...
5	Placa	SA-515	70	2	485	260	138	138	138	138	138	136	128	101	67,1	33,6	12,9	...	...
6	Placa	SA-516	55	1	380	205	108	108	108	108	108	107	101	89,1	62,6	31,6	12,7	...	...
7	Placa	SA-516	60	1	415	220	118	118	118	118	118	115	108	88,9	62,7	31,6	12,7	...	...
8	Placa	SA-516	65	1	450	240	128	128	128	128	128	125	118	95	63,2	31,7	12,7	...	...
9	Placa	SA-516	70	2	485	260	138	138	138	138	138	136	128	101	67,1	33,6	12,9	...	...

Figura 8.2.2. Tabla. Esfuerzo a la tensión del acero ASTM 285 C en función de la temperatura. ASME VIII

En la Tabla se observa que la tensión admisible depende de la temperatura, teniendo en cuenta la temperatura de operación se tiene que:

$$S = 108 \text{ Mpa} = 15664.1 \text{ psi}$$

8.3 Cargas en el recipiente

Las cargas más importantes presentes en un recipiente a presión según el inciso UG-22 de la ASME son:

- (a) La presión de diseño interna o externa UG-21
- (b) Peso del recipiente y contenido normal en condiciones operativas.

8.3.1 Partes del recipiente a presión

El recipiente a diseñar posee un cascarón cilíndrico y dos cabezas, una por donde ingresará el gas expelente y otra por donde se descargará la mezcla de polvo químico, Los esfuerzos que se presentan en este tipo de formas son:

1. Esfuerzos Longitudinales: Causados por la presión del fluido contenido.
2. Esfuerzos Tangenciales: Causados por la misma presión interior
3. Esfuerzos Residuales: Causados por el proceso de soldadura o cualquier trabajo mecánico.
4. Esfuerzos causados por Cargas Externas: Tales como viento y sismo.

Si consideramos al cilindro como un recipiente de pared delgada para aplicar la teoría de membranas, se obtiene que cualquier partícula del cilindro está sometida a dos tipos de esfuerzos principalmente, que son el esfuerzo longitudinal y esfuerzo transversal.

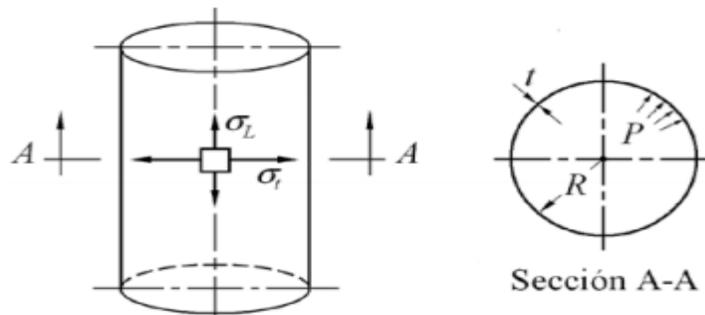


figura 8.3.1. Esfuerzo circunferencial y longitudinal (J.Massa)

8.3.2 Esfuerzos en el recipiente

Para los esfuerzos en el recipiente se define que:

t : Espesor mínimo requerido de la cascara, según la ASME se debe calcular para cada uno de los componentes del recipiente.

P : Presión interna de diseño (psi)

R : Radio interior del recipiente (in)

S : Valor máximo de tensión permisible (psi)

E : Eficiencia de la junta (*adimensional*) ver UW-12 de la ASME

8.3.3 Esfuerzo circunferencial

Cuando el espesor no exceda la mitad del radio interior, o P no exceda $0.385SE$, se aplicarán la siguiente fórmula:

$$t_{EC} = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (1)$$

Con la ecuación (1) se calcula el mínimo espesor del cascarón sometido a esfuerzo circunferencial, de la siguiente manera:

$$t_{EC} = \frac{(135 \text{ psi})(4 \text{ in})}{(15,664.1 \text{ psi})(0.70) - 0.6(135 \text{ psi})}$$

$$t_{EC} = 0.0496 \text{ in}$$

8.3.4 Esfuerzo longitudinal

Cuando el espesor no exceda la mitad del radio interior, o P no exceda $1.25SE$, se aplicarán la siguiente fórmula:

$$t_{EL} = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad (2)$$

$$t_{EL} = \frac{(135 \text{ psi})(4 \text{ in})}{2(15,664.1 \text{ psi})(0.70) + 0.4(135 \text{ psi})}$$

$$t_{EL} = 0.00153 \text{ in}$$

Se puede observar que el mínimo espesor por esfuerzo circunferencial y esfuerzo longitudinal son respectivamente 0.0496 in y 0.00153 in. Estos espesores son pequeños debido a que la presión de diseño es pequeña. La ASME recomienda que el mínimo espesor en recipientes a presión debe ser de 1/16 in, adicionalmente se debe considerar que la placa para la fabricación debe tener un espesor comercial. Por tanto, el espesor seleccionado es:

$$t = \frac{1}{16} \text{ in}$$

8.4 Construcción de las cabezas (Tapas)

Las cabezas o tapas son los elementos más importantes al momento de diseñar un recipiente a presión, la geometría de cada tipo de tapa tiene una resistencia intrínseca de acuerdo a sus concentradores de esfuerzo.

Existen diferentes tipos de tapas para recipientes a presión, entre las que se encuentran:

8.4.1 Tapas planas

Se utilizan por lo general en fondos de tanque a presión y a presión atmosférica, es la tapa de más bajo costo de fabricación en la industria.

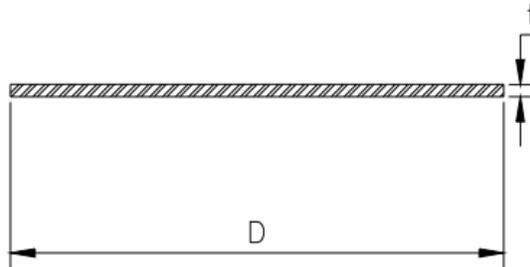


Figura 8.4.1. Tapa plana

8.4.2 Tapa plana con ceja

Su costo es relativamente bajo y soportan más presión que las tapas planas sin ceja.

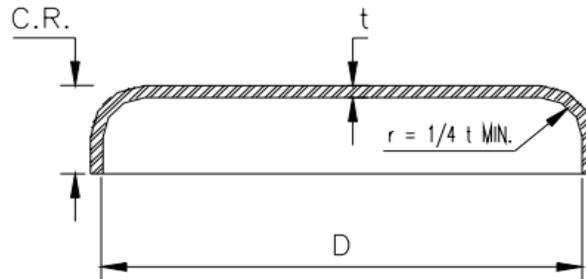


Figura 8.4.2. Tapa plana con ceja

8.4.3 Tapas semielípticas

Soportan mucha más presión que las tapas toriesféricas, la desventaja es que son muy costosas debido que su proceso de fabricación es por troquelado.

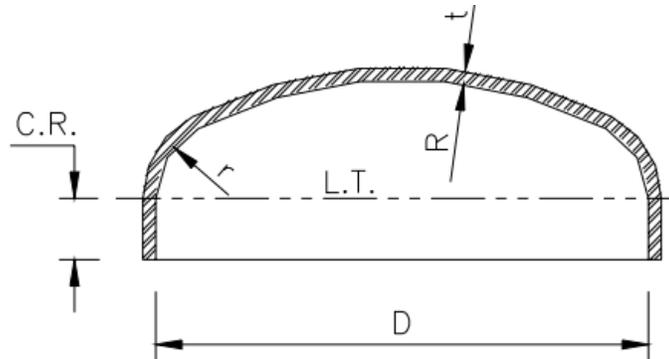


Figura 8.4.3. Tapa Semielíptica

8.4.4 Tapas toriesféricas

Son las más comunes y con más aceptaciones en la industria. Son relativamente económicas y pueden ser fabricadas por medio de soldadura. (DrC. Idalberto de la C. Mendoza Dias, 2021)

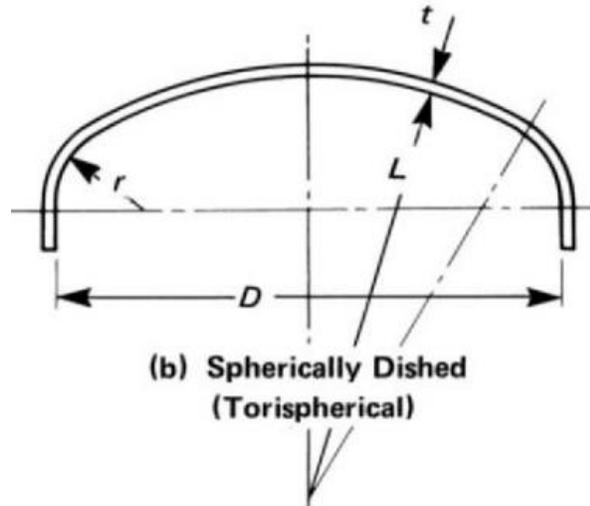


Figura 8.4.4. Tapa toriesférica

La tapa a diseñar para el recipiente será una tapa toriesférica, debido a que es la más comercial y soporta presiones relativamente altas.

8.4.5 Cálculo del espesor de la tapa toriesférica superior

Según la ASME el espesor de las tapas también debe ser calculado, para el cálculo del espesor de tapas toriesféricas la ecuación es la siguiente:

$$t_T = \frac{PLM}{2SE - 0.2P} \quad (3)$$

Donde:

M : Factor adimensional que depende de la relación L/r (Ver la tabla)

L : Radio de abombado (*in*), en tapas toriesféricas tipo ASME el radio de abombado es el 10% del diámetro externo del cascarón.

$$L = 0.1D_{ext}$$

r : Radio de esquina o radio de nudillos (*in*), según la ASME este radio representa el 6% del radio de abombado.

$$r = 0.06L$$

t_T : Espesor mínimo de la tapa (*in*)

8.4.6 Cálculo del factor adimensional M

$$L = 0.1 D_{ext} = 0.1 \left(8 \text{ in} + \frac{2}{16} \right) = 0.8125 \text{ in}$$

$$r = 0.06L = 0.06(0.8125 \text{ in}) = 0.04875$$

$$\frac{L}{r} = 16.66 = 16 \left(\frac{2}{3} \right)$$

Por tanto, el factor adimensional M es:

TABLE 1-4.2
VALUES OF FACTOR *M*
(Use Nearest Value of *L/r*; Interpolation Unnecessary)

<i>L/r</i>	1.0	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50
<i>M</i>	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.18	1.20	1.22
<i>L/r</i>	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
<i>M</i>	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36	1.39	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50
<i>L/r</i>	9.5	10.00	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16.2/1
<i>M</i>	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77

Figura. 8.4.6. Factores dimensionales M, ASME

Por tanto, el espesor se calcula como:

$$t_T = \frac{(135 \text{ psi})(0.8125 \text{ in})(1.77)}{2(15,664.1 \text{ psi})(0.70) - 0.2(135 \text{ psi})}$$

$$t_T = 0.00886 \text{ in}$$

Como el espesor mínimo de pared de la tapa es también menor al mínimo recomendado por la ASME, corroboramos que el espesor a implementar es también:

$$t_T = \frac{1}{16} \text{ in}$$

8.4.7 Altura de la tapa

$$\text{Altura de la tapa sin pestaña} = 0.169D_{ext} = 0.169 \left(8 \text{ in} + \frac{2}{16} \right) = 1.373125 \text{ in}$$

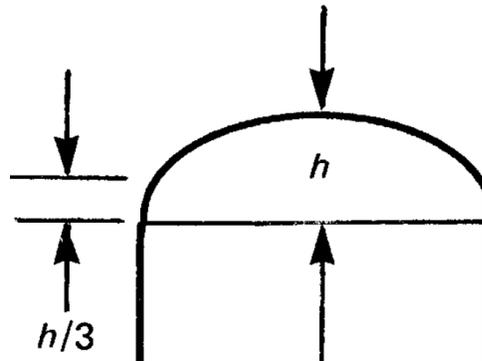


Figura 8.4.7. Proporción entre altura y pestaña, ASME VIII.

Se tiene entonces:

$$h - \frac{h}{3} = \text{Altura de la tapa sin pestaña}$$

$$h - \frac{h}{3} = 1.373125 \text{ in}$$

Despejando se tiene que:

$$h = 2.06 \text{ in}$$

8.5 Dimensiones de las partes del recipiente

En base a los cálculos anteriores se definen las dimensiones de los componentes del recipiente.

8.5.1 Tapa superior

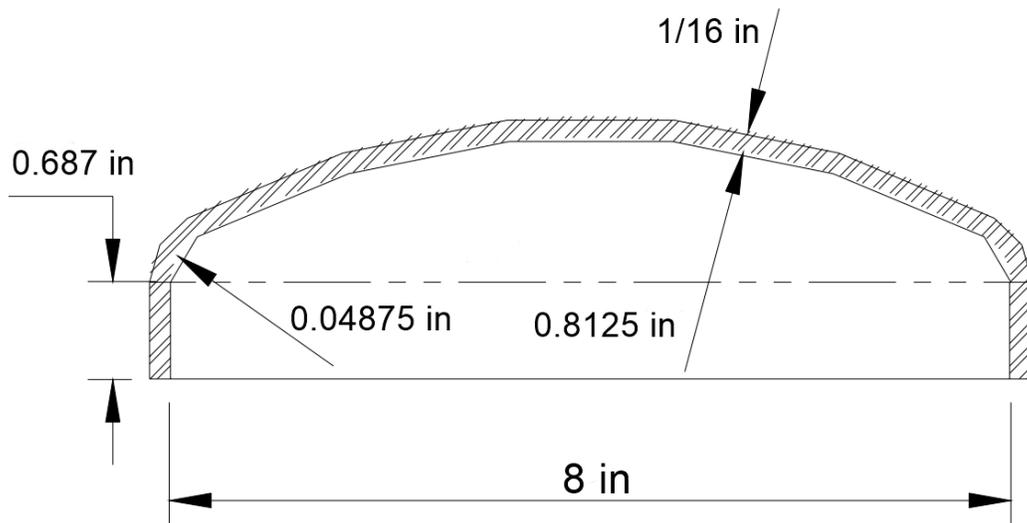


Figura 8.5.1. Dimensiones tapa superior (Autores)

8.5.2 Tapa inferior

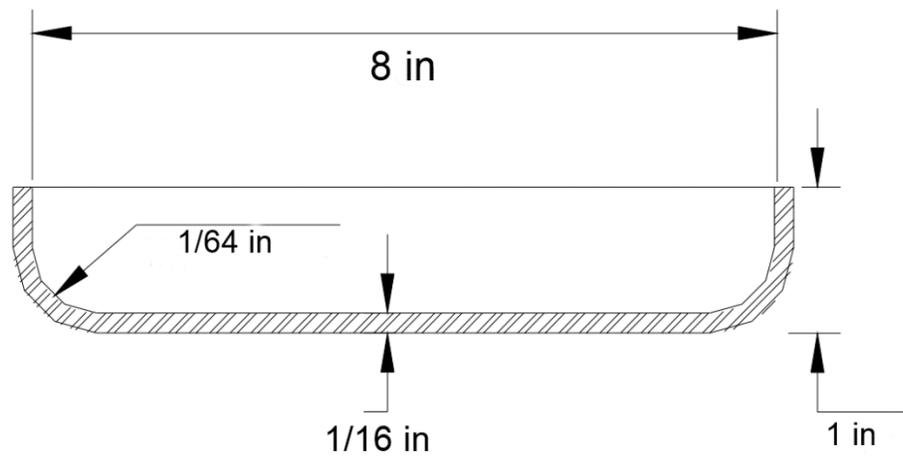


Figura 8.5.2. Dimensiones tapa inferior (Autores)

8.5.3 Cuerpo cilíndrico

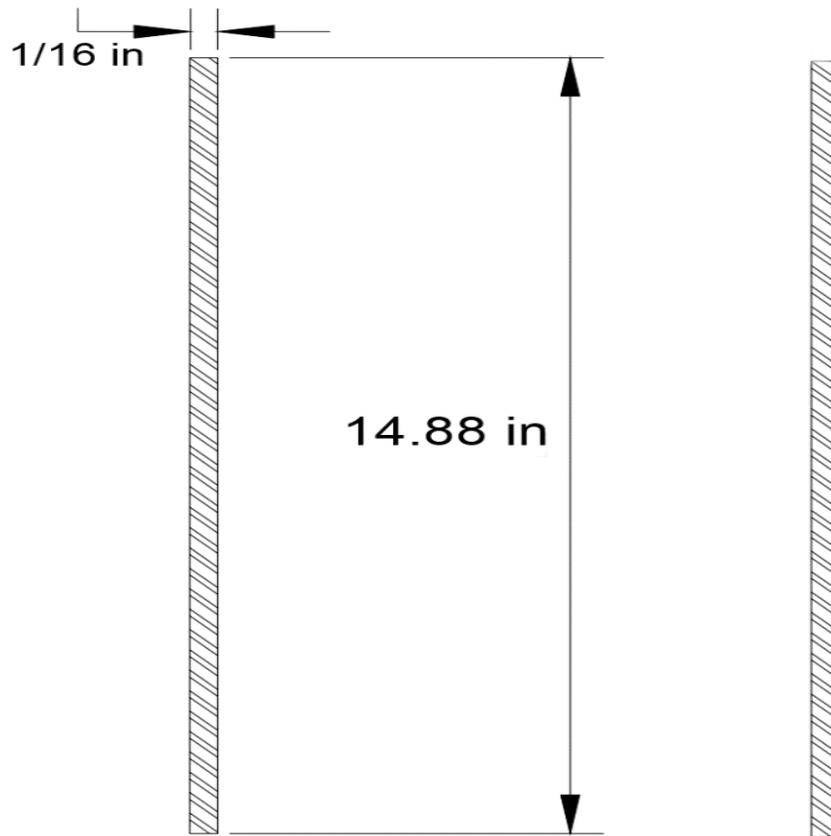


Figura 8.5.3. Dimensiones cuerpo cilíndrico (Autores)

9. Implementación del sistema de comunicaciones

Basado en la parte mecánica expuesta anteriormente se diseña el sistema de comunicaciones que tiene como principal objetivo enviar una señal en alto en caso de que la alarma se active, y una parte receptora que lea la señal enviada y que active el sistema de aspersión definido previamente. Para esto el circuito transmisor lee la señal de la alarma la cual se comporta como una señal digital (alto si se activa la alarma y bajo si permanece desactivada), y en caso de que la señal enviada sea alta se activará el sistema de aspersión. El diagrama de comunicaciones se muestra en la siguiente figura:

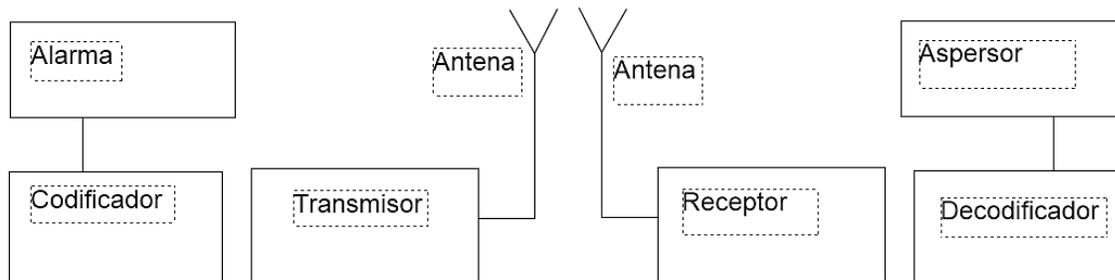


Figura 9-1. Sistema de comunicaciones

Teniendo en cuenta esto, se diseña el sistema de comunicaciones acorde a los requerimientos establecidos previamente.

9.1 Selección del módulo RF

Dado que el alcance de este trabajo no incluye el diseño de un módulo de radiofrecuencia desde cero y comercialmente existen una gran variedad de estos módulos a un precio accesible y con muchas prestaciones, se opta por la selección de un módulo disponible comercialmente. Para esto se tienen en cuenta varios aspectos a la hora de la selección del módulo adecuado, entre estos parámetros se encuentran:

- Potencia consumida, la cual se verá directamente reflejada en el rango de transmisión, para este caso no se requiere un rango superior a 10 metros. Para

esta aplicación se requiere que la potencia sea lo más baja posible ya que alimenta un sistema que debe estar siempre disponible

- Tasa de bits la cual es muy baja ya que solo se debe enviar un número de 1 bit, que corresponde al sistema activado o desactivado
- Costo accesible.
- Facilidad de integración con el diseño propuesto.

Para esto se formula una matriz de selección ponderada la cual ayudará a la selección del módulo RF adecuado.

En esta matriz se incluyen los potenciales módulos RF que pueden ser útiles para la aplicación ya que cumplen con los requerimientos mínimos de diseño. Se definen también los parámetros de evaluación que son consumo energético (de 1 a 4 siendo 1 la potencia más alta y 4 la potencia más baja), costo (siendo 1 el costo más bajo y 4 el costo más alto), y la facilidad de integración (siendo 1 la más difícil de integrar y 4 la más fácil).

Entre los módulos analizados se encuentran:

- NRF24L01: Este módulo posee un rango de transmisión de hasta 1000m con antena integrada una tasa de bits de hasta 2Mbps/s y una potencia de 60mW a 2.4GHz. este módulo tiene un protocolo de comunicación SPI por lo que requiere el uso adicional de un microcontrolador (Simicondutor, 2008).
- HC-05: Bajo el protocolo de comunicación por bluetooth este módulo opera con una potencia de 5mW a 2.4GHz y requiere del uso de microcontroladores ya que se basa el protocolo TTL (ITead Studio, 2010).
- Módulos 315MHz y 433MHz: esos módulos comparten muchas similitudes ya que tienen una potencia de transmisión de 10mW, no requieren el uso de microcontroladores y el protocolo de comunicación es el mismo, sin embargo, la diferencia radica en la frecuencia de transmisión lo que incrementa ligeramente el costo para el módulo de 433MHz (Escol, 2015).

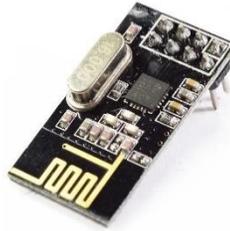


Figura 9.1.1. Módulo NRF24L01 (Semiconductor, N. (2008).)

- HC-05: Bajo el protocolo de comunicación por bluetooth este módulo opera con una potencia de 5mW a 2.4GHz y requiere del uso de microcontroladores ya que se basa el protocolo TTL (ITEAD Studio, 2010).



Figura 9.1.2. Módulo Bluetooth HC-05 (ITEAD Studio, 2010)

- Módulos 315MHz y 433MHz: esos módulos comparten muchas similitudes ya que tienen una potencia de transmisión de 10mW, no requieren el uso de microcontroladores y el protocolo de comunicación es el mismo, sin embargo, la diferencia radica en la frecuencia de transmisión lo que incrementa ligeramente el costo para el módulo de 433MHz (Escol, 2015).



Figura 9.1.3. Módulo RF 433MHz (Escol, 2015)

En base a los criterios evaluados se obtiene la siguiente matriz de selección ponderada de la tabla (Tabla 9-1) dando como resultado que el módulo RF de 315MHz tiene un puntaje más alto respecto a los demás, por tanto será el implementado en el desarrollo de este proyecto.

Tabla 9-1
Matriz de selección ponderada

Modulo	433MHz	315MHz	HC-05	Nrf24L01
Criterio				
Costo (30%)	3	4	1	2
Integración (40%)	4	4	2	2
Consumo (30%)	2	2	4	1
Total	3,1	3,4	2,3	1,7

9.2 Codificación

La principal limitación de estos módulos comerciales de radiofrecuencia es que trabajan en frecuencias comercialmente disponibles (315MHz, 433Mhz, 2.4GHz, 5,8GHz entre otras), es decir que cualquier persona externa puede transmitir en la misma frecuencia facilitando el acceso completo al sistema. Por esta razón la señal que se envía debe ser codificada con el objetivo de que la comunicación entre el transmisor y el receptor sea única y un módulo externo no se pueda comunicar.

El sistema de codificación tiene 2 propósitos principales, el primero es relacionado a la seguridad del sistema para que un externo no pueda manipular los aspersores o bien desactivar el sistema, y el segundo es el de modular la señal que entrega la alarma para la comunicación entre esta y el transmisor y de manera similar en la parte del receptor para decodificar la señal del receptor en una señal que active el sistema de aspersión.

Se debe tener en cuenta que el módulo RF ultimado en este trabajo consta de 2 partes, un transmisor y un receptor como se indica en la figura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Cada uno de estos módulos consta de 3 pines, los pines Vcc y GND van conectados directamente a la alimentación del sistema ya sea una batería o una fuente de alimentación DC, y el pin Data que va al codificador o decodificador según sea el caso.

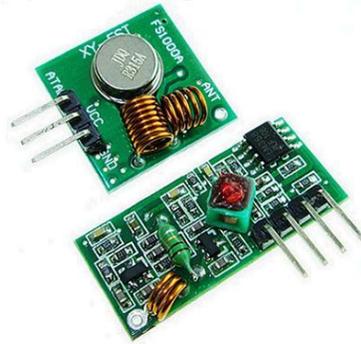


Figura 9.2.1. Módulo transmisor-receptor

Para este módulo los integrados codificadores y decodificadores son los integrados HT12-D y HT12-E respectivamente. Ambos encapsulados de 18 pines son módulos que pueden codificar y decodificar hasta 4 canales, dado que para esta aplicación solo es requerido un canal estos integrados son útiles para el propósito de este trabajo. Estos módulos adicionalmente poseen una codificación de 8 bits por lo que hay 256 combinaciones posibles para codificar la señal. La codificación de la señal se obtiene cerrando los interruptores los pines A0 a A7 de la figura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) según se desee, esto teniendo en cuenta que el patrón seleccionado sea el mismo para el HC12D y el HC12E (Holtek, 2002) (Holtek, 2000).

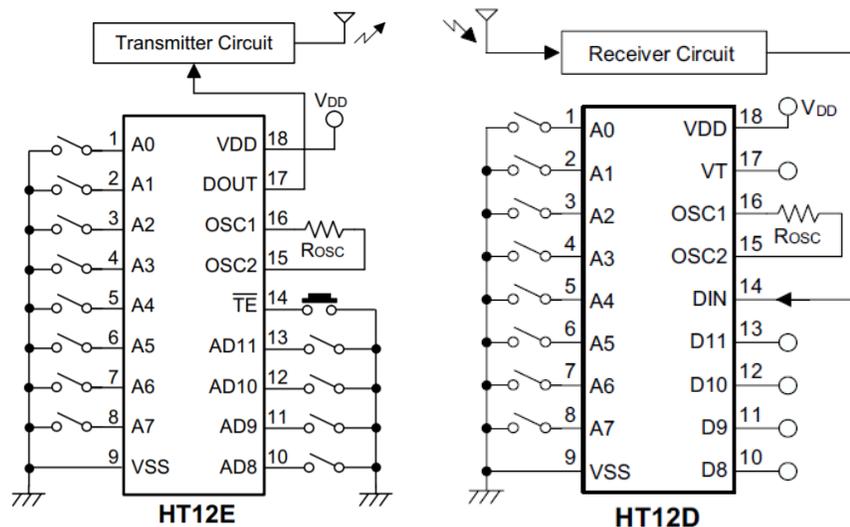


Figura 9.2.2. Módulos HT12E y HT12D

Teniendo en cuenta que el módulo HT12E va conectado al circuito transmisor y el HT12D al receptor. De igual manera se tienen las siguientes consideraciones para el diseño del esquema eléctrico:

- Como se mencionó anteriormente los pines A0 al A7 para cada uno de los módulos actúan como codificadores.
- Los pines VDD de cada uno de los módulos van conectados directamente a la alimentación.
- En el caso del HT12E se tienen los pines AD8 a AD11 que corresponden a los 4 canales de transmisión. Del lado del HT12D se tienen los pines D8 a D11 que corresponden a los canales de salida del receptor en donde el pin AD8 controla el pin D8 y de manera similar para el resto de las canales.
- R_{osc} es una resistencia que se calcula en función de el voltaje de alimentación y la frecuencia de transmisión la cual se definirá en breve.
- El pin D_{out} del HT12E y el pin del HT12D van a los pines de datos del transmisor y receptor del módulo RF respectivamente.

Habiendo definido el sistema de comunicaciones se puede hacer la integración entre este y la parte del sistema de detección y contención de incendios.

9.3 Configuración del transmisor

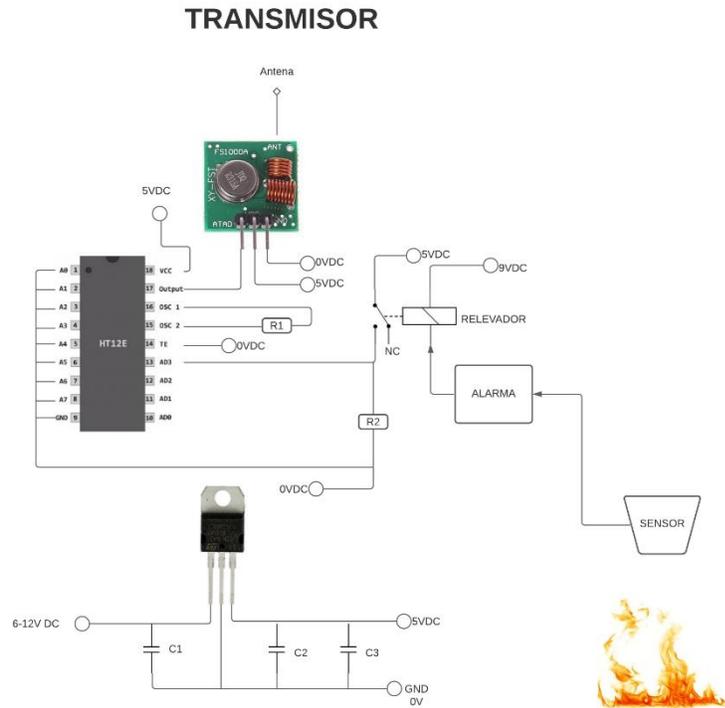


Figura 9.3.1. Esquema general del circuito transmisor (Autores)

En el esquema se observa la configuración del transmisor, al momento de ocurrir un conato de incendio, primeramente, el sensor detectará el fuego, mandara una señal a la alarma activándola, con la alarma activada esta enviará una señal eléctrica (1 binario), energizando la bobina de un relevador que cerrará el circuito del sistema transmisor. Con el circuito energizado la señal eléctrica entrará por el pin AD3 del codificador HT12E, el cual codificará la onda y por medio de sus osciladores posibilitará la transmisión de la señal a través del módulo de radiofrecuencia de 433Mhz. finalmente, la antena transmitirá la señal al receptor.

9.4. Configuración del receptor

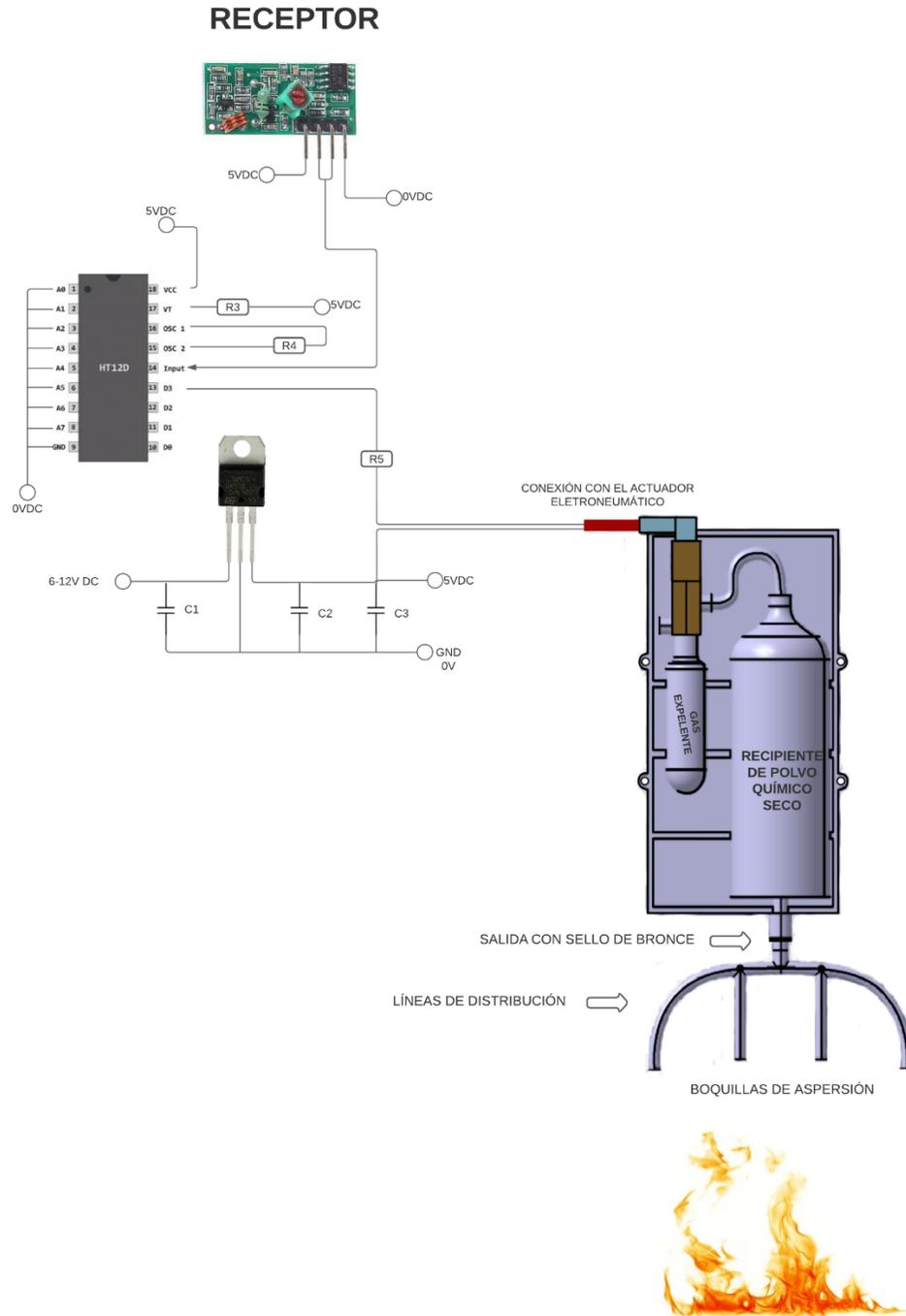


Figura 9.4.1. Esquema general del circuito receptor (Autores)

El receptor recibe la señal del transmisor y la dirige al PIN Input del decodificador HT12D, este por medio de sus osciladores decodifica la onda, la cual sale por el PIN D3 del decodificador hasta uno de los pines de conexión del actuador eléctrico del recipiente de

gas expelente del sistema. Una de las líneas de conexión del actuador electroneumático es la que sale del regulador de voltaje del circuito receptor el cual es regulado por 3 condensadores y un regulador de voltaje 5VDC LM1084IT-5.0.

9.5 Conexión del receptor al actuador electroneumático

Para el accionamiento del sistema de presurización, se adquirirá el recipiente de gas expelente que será el encargado de presurizar el recipiente de polvo químico, esta capsula tiene actuador electroneumático que es encargado de perforar el sello del cartucho de gas propulsor permitiendo que el gas propulsor fluya hacia el tanque de agente, el actuador se muestra en la siguiente imagen.

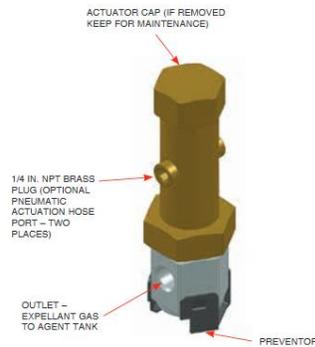


Figura 9.5.1. Actuador electroneumático (Manual Chekfire 110 Tyco)

La tapa del actuador es removida para instalar un dispositivo de actuación de protracción eléctrica, cuando el circuito receptor mande la señal de salida al protractor, este generará la fuerza para impulsar el pasador de pulsión del actuador a través del sello del cartucho de gas expelente. Tal como se observa en la siguiente imagen. (ansul, 2014, p. 14)

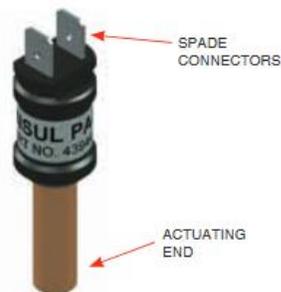


Figura 9.5.2. Dispositivo de actuación de protracción (Manual Chekfire 110 Tyco)

El dispositivo de actuación de proyección se acopla en una horquilla roscada que se enrosca en la parte superior del actuador. Finalmente, el sistema queda adecuado para cumplir su función como se muestra en la imagen a continuación.



Figura 9.5.3. A) Dispositivo de proyección no actuado y actuado. B) Actuador acoplado (Manual Chekfire 110 Tyco)

9.6. Caja de protección del circuito transmisor y receptor

Los circuitos transmisor y receptor estarán sometidos a condiciones extremas de temperatura, humedad, vibraciones y golpes. Para garantizar la estanqueidad y robustez del sistema estos circuitos deben estar protegidos en dichas condiciones de operación. Basados en las normas de grado de protección IP y grado de protección IK, determinamos el grado de protección requerido para el recipiente de los circuitos.

9.6.1. Norma DIN en IEC Grado de protección IP

Cuando se habla del grado de protección IP, se hace referencia a la norma IEC 60529 “Degrees of protection”, desarrollada por la comisión internacional electrotécnica (International Electrotechnical Commission: IEC).

La norma indica los niveles de protección, con los que debe cumplir la cubierta o contenedor de los equipos y herramientas eléctricas o electrónicas. La protección a la que refiere la norma es la que evita que materiales sólidos y líquidos ingresen al interior del equipo o herramienta, causando algún daño. Las siglas IP corresponden al vocablo inglés “Ingress Protection”, es decir, protección de ingreso.

Un grado IP está conformado por dos números:

IP(A)(B)

A: Es el primer índice, determina el grado de protección contra el ingreso de cuerpos sólidos.

B: Es el segundo índice, determina el grado de protección contra el ingreso de sustancias líquidas. Normalmente el agua, en este caso también combustibles y aceites.

Para determinar el grado IP del recipiente de los circuitos nos basamos en la siguiente tabla:

9.6.2. Material particulado en minas

Como los circuitos estarán instalados en un vehículo minero, se considera menester analizar las propiedades del tamaño de las partículas sólidas de los materiales más comunes presentes en las minas. Como lo son el carbón, la arena, la sal y otros derivados de la sílice.

- **Carbón:** En minas de carbón se pueden presentar más que todo emisiones en el aire de carbón en polvo el cual tiene un tamaño de partícula de 75 micrómetros, también carbón sólido en tamaños superiores desde 1 mm hasta 30 cm. En este caso se toma la condición crítica que es carbón en polvo. (*Goodfellow, 2008*)
- **Arena:** La arena común es un material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre los 0.063 mm y 2 mm, en las minas se presenta una arena inferior a los 0.063 mm y hasta 0.004, a esta arena se le denomina limo (*Theodoris, Marina (2003).*). Esta arena se tomará como referencia más crítica a la que estará expuesta el contenedor de los circuitos.
- **Sal:** La granulometría de la sal determina tamaños desde los 0.45 mm hasta los 5 mm. (*Parámetros de granulometría sal. LQM*).

9.6.3. Determinación del primer índice IP (A)

De la granulometría de los materiales más comunes analizados en el punto anterior se toma el grano más pequeño como referencia de la condición más crítica. Por tanto el contenedor debe resistir el ingreso de partículas desde 75 micrómetros.

Se selecciona el índice de la siguiente tabla proporcionada por la IEC 60529.

Nivel	Tamaño del objeto entrante	Efectivo contra
0	—	Sin protección
1	<50 mm	Cuerpos sólidos con esfera de 50 mm de diámetro o menos, no debe llegar a entrar por completo.
2	<12.5 mm	Cuerpos sólidos con esfera de 12,5 mm de diámetro o menos, no debe llegar a entrar por completo.
3	<2.5 mm	Cuerpos sólidos con esfera de 2,5 mm de diámetro o menos, no debe entrar en lo más mínimo.
4	<1 mm	Cuerpos sólidos con esfera de 1 mm de diámetro o menos, no debe entrar en lo más mínimo.
5	Protección contra polvo	La entrada de polvo no puede evitarse, pero el mismo no debe entrar en una cantidad tal que interfiera con el correcto funcionamiento del equipo.
6	Protección fuerte contra polvo	El polvo no debe entrar bajo ninguna circunstancia.

Figura 9.6.3. Valores del primer índice IP (IEC 60529)

De acuerdo a la tabla 9.6.1. El valor más adecuado para el circuito con respecto al ingreso de polvo es **Número 6: Protección fuerte contra el polvo.**

9.6.4. Determinación del segundo índice IP (B)

Al ser un circuito electrónico, este no puede estar en contacto con agua, combustibles y aceites, para evitar cortos circuitos, la oxidación de los componentes y la falla funcional. Por tanto según la tabla de la IEC 60529 determinamos el grado de protección contra sustancias líquidas presentes en los vehículos mineros.

Nivel	Protección frente a	Método de prueba	Resultados
0	Sin protección	Ninguno	El agua entrará en el equipo en poco tiempo.
1	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, desde 200 mm de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto)
2	Goteo de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua cuando se la deja caer, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm ³ por minuto). Dicha prueba se realizará cuatro veces a razón de una por cada giro de 15° tanto en sentido vertical como horizontal, partiendo cada vez de la posición normal de trabajo.
3	Agua nebulizada. (spray)	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical a un promedio de 11 litros por minuto y a una presión de 80-100 kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.

4	Chorros de agua	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto y a una presión de 80-100 kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
5	Chorros de agua.	Se coloca el equipamiento que va en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30 kN/m ² durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia no menor de 3 metros.
6	Chorros muy potentes de agua.	Se coloca el equipamiento en su lugar de trabajo habitual.	No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro, a un promedio de 100 litros por minuto y a una presión de 100 kN/m ² durante no menos de 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
7	Inmersión completa en agua.	El objeto debe soportar sin filtración alguna la inmersión completa a 1 metro durante 30 minutos.	No debe entrar agua.

Figura 9.6.4. Valores del segundo índice IP (IEC 60529)

De acuerdo con la tabla 9.6.4. Se determina el segundo índice como número 5, que da la posibilidad que el contenedor sea sumergido en agua durante 3 minutos. En un incendio es poco probable que pase, pero si le caerá agua desde diferentes ángulos. Por tanto este grado garantiza la permeabilidad del sistema.

Por tanto, la caja de protección del transmisor y del receptor debe ser **Grado de protección IP65**.

9.6.5. Determinación del grado de protección IK

El grado de protección IK hace referencia a la norma europea EN 62262, equivalente a la norma internacional IEC 62262 (2002), y es un sistema de codificación para indicar el grado de protección proporcionado por la envolvente de equipos contra los impactos mecánicos nocivos, salvaguardando así los materiales y componentes en su interior. Antes de la aparición del código IK, se añadía ocasionalmente un tercer número al grado de protección IP para indicar el nivel de protección contra los impactos.

El código IK se designa con un número graduado de 0 hasta 10. A medida que el número va aumentando su valor, indica que la energía del impacto mecánico sobre la envolvente es mayor. Aunque en la nomenclatura se indique el número con dos cifras, por ejemplo, IK05, es lo mismo que indicar un grado de protección de 5.

En la siguiente tabla se indican los diferentes grados de protección IK, indicándose también la energía del impacto asociada a cada uno. También se indica la equivalencia en peso y altura de caída de la pieza de golpeo sobre la envolvente del equipo.

CODIGO IK	IMPACTO DE ENERGIA	PRUEBA
00	Sin Proteger	
01	Impacto de Energía 0.150 J	Resistente contra un impacto de un objeto de 200 grs lanzado desde un distancia de 7,5 cm
02	Impacto de Energía 0.200 J	Resistente contra un impacto de un objeto de 200 grs lanzado desde un distancia de 10 cm
03	Impacto de Energía 0.350 J	Resistente contra un impacto de un objeto de 200 grs lanzado desde un distancia de 17,5 cm
04	Impacto de Energía 0.500 J	Resistente contra un impacto de un objeto de 200 grs lanzado desde un distancia de 25 cm
05	Impacto de Energía 0.700 J	Resistente contra un impacto de un objeto de 200 grs lanzado desde un distancia de 35 cm
06	Impacto de Energía 1.00 J	Resistente contra un impacto de un objeto de 500 grs lanzado desde un distancia de 20 cm
07	Impacto de Energía 2.00 J	Resistente contra un impacto de un objeto de 500 grs lanzado desde un distancia de 40 cm
08	Impacto de Energía 5.00 J	Resistente contra un impacto de un objeto de 1.7 kg lanzado desde un distancia de 29.5 cm
09	Impacto de Energía 10.00 J	Resistente contra un impacto de un objeto de 5 kg lanzado desde un distancia de 20 cm
10	Impacto de Energía 20.00 J	Resistente contra un impacto de un objeto de 5 kg lanzado desde un distancia de 40 cm

Figura 9.6.5. Código de protección IK (IEC 62262)

De la tabla 9.6.5. Determinamos el grado de protección contra impactos mecánicos de los contenedores de los circuitos, como estos contenedores estarán instalados en una volqueta minera, es necesario que sea muy resistente. Por tanto, se le asigna al contenedor el **Código de protección IK10**.

9.6.6. Determinación de la caja de protección.

La caja de protección debe cumplir con las siguientes características

- Protección IP65: Resistente a cuerpos sólidos y sustancias líquidas.
- Protección IK10: Máxima resistencia al impacto.
- Resistencia al fuego.
- Material polímero: El material debe ser aislante para proteger los componentes de las cargas electrostáticas.
- Fácil montaje y desmontaje.

De las cajas comerciales que cumplen con estos requisitos se seleccionó una del catálogo de la empresa de materiales eléctricos Schneider, se muestra en la siguiente tabla 9.6.6.

			
	TBS Página 2/101	TBP Página 2/101	PLS Página 2/126
Materiales	ABS	Polycarbonato	Poliéster con fibra de vidrio
Criterios			
Uso en exteriores con exposición a los rayos UV		•	•
Entorno agresivo		•	• (2)
Grado de protección	IP66 IK7	IP66 IK8	IP65 IK10
Resistencia al fuego: hilo incandescente IEC 60695-2-11	650 °C	960 °C	960 °C
Dimensiones exteriores (mm)	 H de 74 a 341 L de 74 a 291 P de 54 a 168	H de 74 a 341 L de 74 a 291 P de 54 a 168	H de 180 a 540 L de 270 a 720 P de 180 a 230
Aplicación universal	•	•	•
Aplicación electrónica			•
Cajas combinables	• (1)	• (1)	•

Figura 9.6.6. Cajas industriales aislantes de uso general (Catálogo Schneider Electric)

De la tabla 9.6.6. Se seleccionó una caja de poliéster con fibra de vidrio que cumple con todas las especificaciones técnicas requeridas.

9.6.7. Dimensiones de los circuitos.

Las dimensiones de los circuitos de transmisión y recepción se pueden compactar más o menos de acuerdo con el modo de instalación dentro de la caja, las medidas estimadas se muestran a continuación:

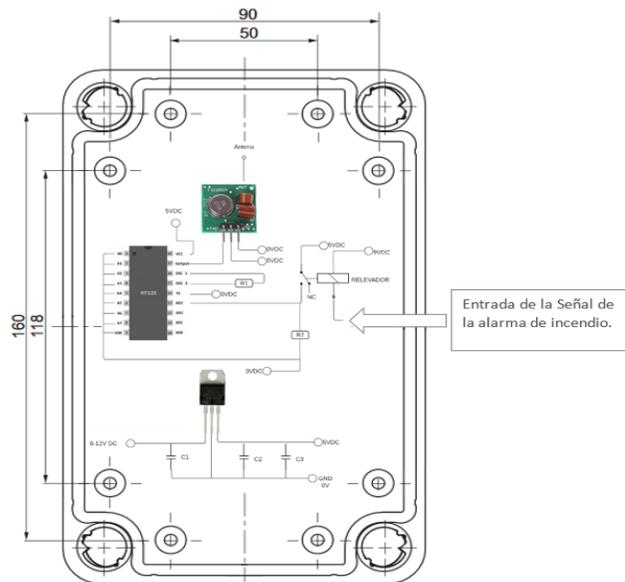


Figura 9.6.7. Diagrama de la caja de protección del circuito transmisor (Autores)

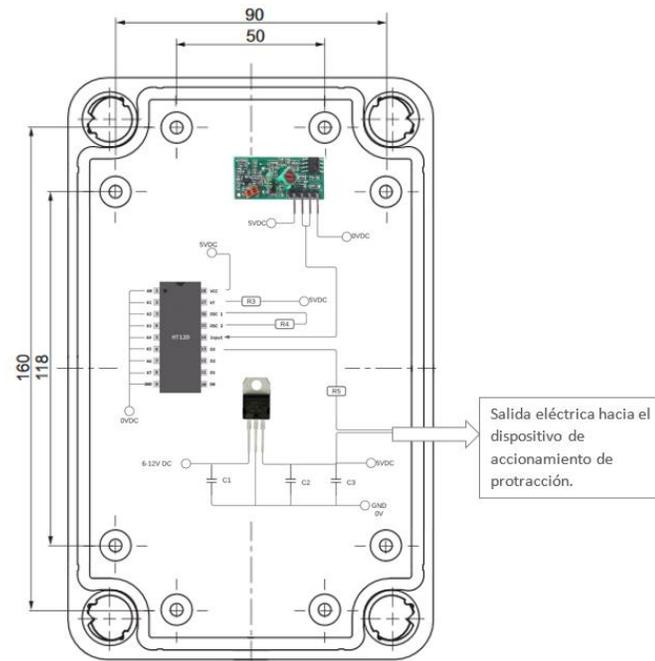


Figura 9.6.7.1. Diagrama de la caja de protección del circuito receptor (Autores)

10. Integración del sistema de comunicaciones y el control de incendios

Una vez definida la modificación al sistema de aspersión y al diseño del sistema de comunicaciones se procede a la integración de estos 2 sistemas, para esto se debe tener en cuenta el flujo básico del sistema expuesto en el numeral anterior, en donde inicialmente el módulo checkfire envía la respectiva señal de activación del sistema de contención cuando es requerido, esta señal en alto alimenta la parte transmisora del circuito y el HT12E así como también envía un alto directamente al pin AD11 (ver Figura 9-3) de este mismo modulo se envía una señal del pin Dout al pin data del módulo transmisor.

De este módulo se envía la señal RF al módulo receptor que está alimentado con una batería LiPo de 3.7V, este módulo receptor envía por el pin data la señal al pin D_{in} que a su vez envía una señal en alto al pin D13, de este pin se conecta a la base un *mosfet* de potencia 2N7002, cuyo colector está alimentado directamente de la batería, y cuando este se cierra permite el paso de corriente para la generación de la chispa sobre la válvula de accionamiento del tanque de gas expelente.

Acorde a la hoja de especificaciones tanto para el módulo RF como para el codificador y decodificador el voltaje de operación tiene un voltaje de operación de entre 3 y 5 voltios, en base a esto se escoge tanto la alimentación del transmisor como del receptor. Para la parte transmisora se tiene la alimentación del módulo checkfire que acorde a la hoja de especificaciones opera con una alimentación de 3 voltios, por lo que no es necesaria una alimentación adicional o una regulación de voltaje para la comunicación entre ambos módulos. Finalmente, para una activación manual se puentea mediante un pulsador la batería directamente al pin D13.

En la parte receptora no hay inicialmente una fuente de alimentación. Para este caso se opta por instalar una batería LiPo de 3.7 voltios la cual tiene un voltaje acorde a las necesidades del circuito, se debe tener en cuenta que el módulo de recepción consume una corriente de 4mA, por lo que el dimensionamiento de la batería se da acorde a este consumo, en este caso se deja a disposición del operador la elección de la capacidad de

la batería teniendo en cuenta que el consumo promedio mensual si el sistema de aspersion no se ha activado es de 3000mAh.

Para la parte transmisora no se requiere este análisis debido a que se consumo es nulo, esto debido a que el sistema se alimentará de una batería externa de un sistema adicional y solo se alimentará esta parte del circuito cuando se envíe la señal de activación. Finalmente, para la generación de chispa se requiere un elevador de voltaje que convierta los 3.7 voltios de la batería en 50 kilovoltios los cuales son requeridos para generar un arco eléctrico capaz de elevar la temperatura de la cámara de combustión. Para esto se implementa un elevador de voltaje que recibe el voltaje de la batería y lo eleva, en este caso se utiliza el módulo MC-105 (Texas Instruments, 2018) el cual recibe un voltaje de entrada de entre 3 y 6 voltios a 1 amperio y los convierte a 50 kilovoltios, lo cual lo hace ideal para esta aplicación.

11. Conclusiones y recomendaciones

11.1 Conclusiones

La migración de sistemas mecánicos a eléctricos puede representar ventajas claras en el diseño de un sistema complejo debido a que estos por lo general son económicos, más fáciles de mantener, tienen principios de funcionamiento más sencillos y brindan mayor confiabilidad. Tal es el caso de la modificación del sistema de extintores en el cual se reemplazan largos conductos de gas expelente los cuales dado que están presurizados requieren un tratamiento especial y son propensos a fallar, en donde para este caso se reemplaza con un sistema de comunicaciones de precio accesible más liviano y fácil de usar que requiere un mantenimiento mínimo asociado al cambio de baterías.

La propuesta de modificación del diseño original nace bajo la necesidad de añadir mayor confiabilidad y versatilidad al sistema original instalado. En base a esto, es de suponer que una comunicación inalámbrica, al permitir el libre posicionamiento de estos equipos en lugares con menos exposición, suponen mejoras en este aspecto.

La reducción de espacio y la movilidad adicional propuesta por el diseño también trae ventajas con respecto al montaje actual. Durante el mantenimiento de los camiones mineros, poder desensamblar e inspeccionar más rigurosamente añadirá mayor confiabilidad al equipo. Al eliminar los caminos de cableado y tuberías adicionales, los tiempos de inspección también se ven beneficiados.

Sin embargo, la reducción de la capacidad del contenedor puede traer consigo problemas en el suministro óptimo de mezcla gas-polvo para atender emergencias de incendios de mayor magnitud que aún sean probables dentro del equipo. La justificación de la reducción del tamaño para ganar portabilidad podría sacrificar la suficiencia del equipo para cumplir su trabajo.

11.2 Recomendaciones

Dado que este proyecto de investigación entrega el diseño detallado del sistema de contención contra incendios, es factible una futura construcción de un prototipo funcional

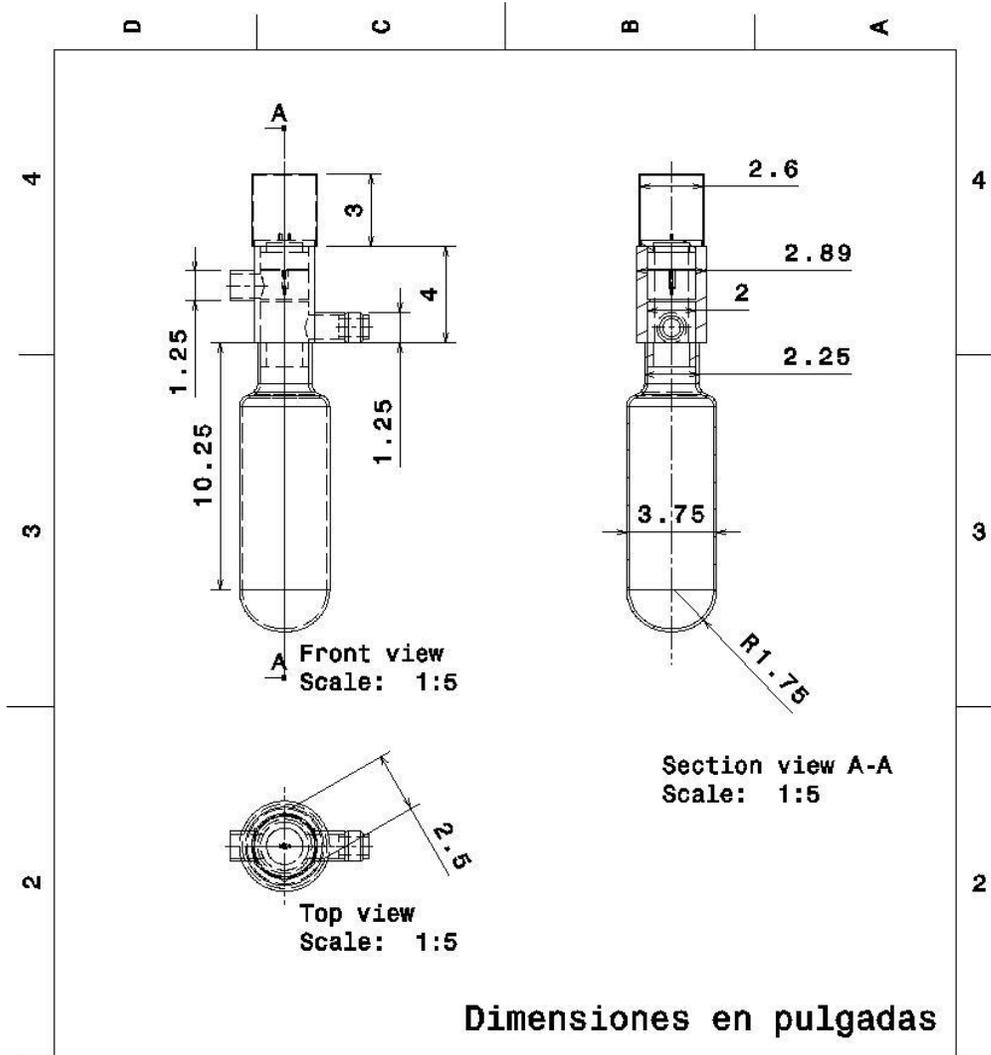
para pruebas de campo, adicionalmente este nuevo sistema podría entrar a ser comercializado.

Se debe tener en cuenta también que se puso a discreción del operador la batería que se desea utilizar, sin embargo, se debe tener en cuenta que hay muchas baterías comerciales disponibles que pueden no adaptarse al sistema por lo que se debe tener en cuenta las dimensiones de la unidad de contención para que la batería pueda ser instalada dentro, sin embargo, se recomienda una batería de 4000mAh de capacidad para una duración de un mes.

Es recomendable analizar, además, qué efectos tendría la implementación de radiación electromagnética dentro del sistema, especialmente en momentos de generación de incendios. Este es un aspecto no evaluado en el proyecto y podría ser crítico para seguir avanzando en la modificación, puesto que la posible generación de chispas o interferencia no deseada en este u otros sistemas del vehículo impedirían el uso de este tipo de comunicación. Otras opciones supondrían WiFi, bluetooth, GPRS también podrían considerarse y evaluar sus costos de implementación.

Anexos

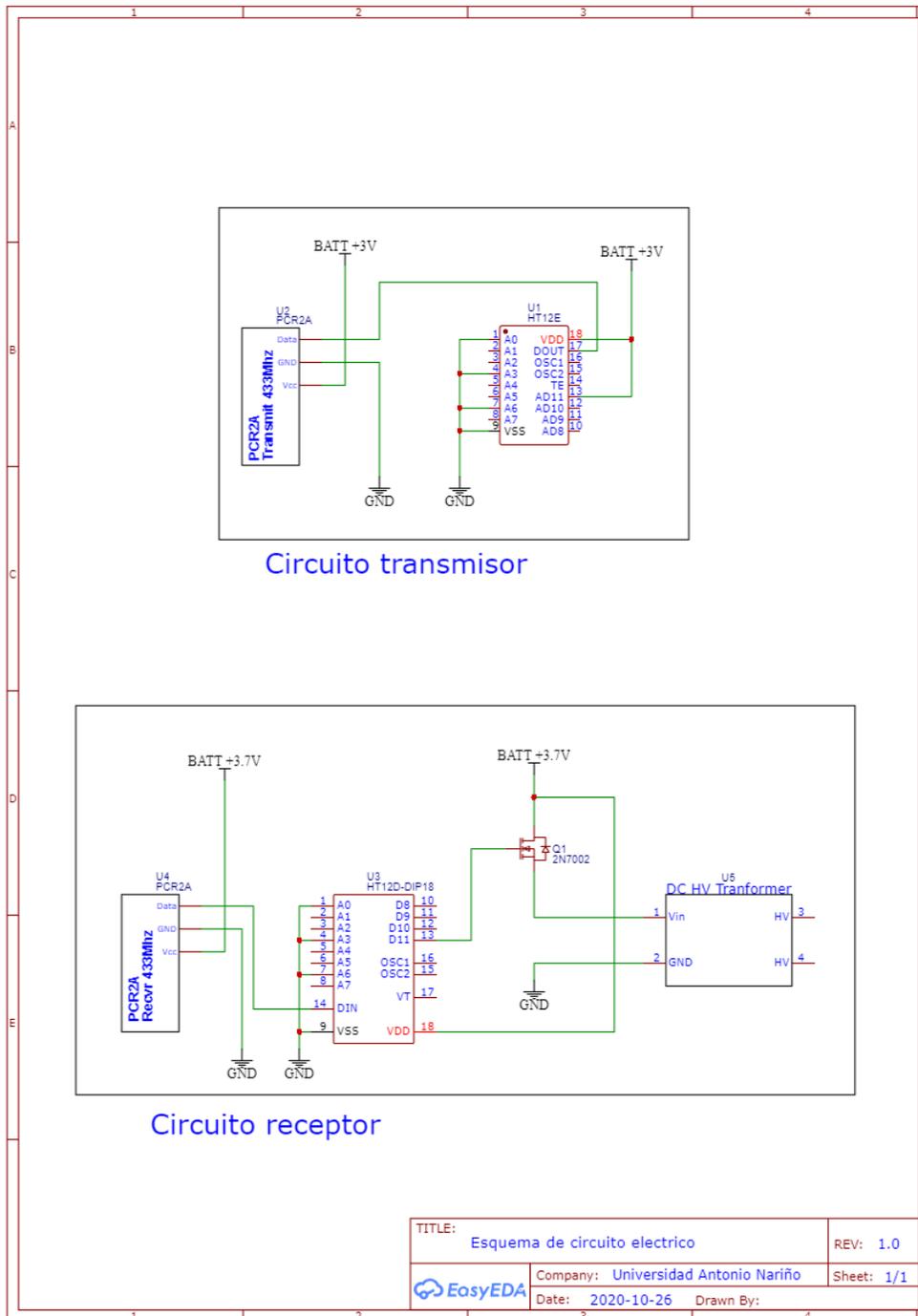
A. Planos de diseño de la capsula de gas expelente



DESIGNED BY: Jeisson Consuegra	Pieza	Material	I	-
DATE: 28/10/2020	Valvula	Bronce UNS C31400	H	-
CHECKED BY:	Tanque	Acero A36	G	-
DATE:			F	-
SIZE A4			E	-
SCALE 1:1			D	-
			C	-
			B	-
			A	-

D A

B. Anexo: Esquema del circuito eléctrico de comunicaciones



C. Anexo: Hoja de datos de seguridad para polvo químico seco FORAY

Hoja de datos POLVO QUÍMICO SECO FORAY				
Ingredientes químicos		Recomendaciones de manipulación	clasificación según NFPA	clasificación según la HMIS
Componentes peligrosos	Componentes no peligrosos	Mantener formación del polvo en el aire al mínimo No respirar el polvo Evitar el contacto con los ojos No utilizar en zonas con poca ventilación Utilizar equipo de protección personal	Salud: 1 Inflamabilidad:0 Inestabilidad:0	Salud:1 Inflamabilidad:0 Riesgo fisico:0
Carbonato de calcio (caliza) del 1 al 2.25%	Pigmentación amarilla del 0% al 1.0% Fluido de silicona del 0.1% al 1 % Tierra de batan del 2.5% al 10% Sulfato amónico del 10% al 20% Fosfato de amonio del 60% al 80%			

Bibliografía

- Ansul. (2021). *checkfire 110 detention actuation system*. Obtenido de https://absupply.net/pdf/Ansul_CheckFire-110_Manual_2014.pdf.
- Ansul. (s. f.). SISTEMA DE SUPRESIÓN DE INCENDIOS A-101 MODELOS 10, 20, 30 Y MODELOS 50, 125, 250.
- Beer, F. (2009). Mecanica de materiales. En Mc Graw Hill (Vol. 5).
- Bee, F. P. (2017). *Mecanica Vectorial para ingenieros*. Mexico: Tomo I, Ediciones McGraw-Hill
- Carter, R. A. (2013, Marzo). Apagando Llamas. Retrieved from Equipo Minero: <https://www.equipo-minero.com/contenidos/apagando-llamas/>
- code, A. B. (2004). *section VIII, division*. New York: American Society of Mechanical Engineers.
- DrC. Idalberto de la C. Mendoza Dias, i. E. (14 de febrero de 2021). *CAPACIDAD VOLUMÉTRICA DE TAPAS Y FONDOS TORIÉSFERICOS*. Obtenido de http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/563/570
- Escol. (2015). RF Transmitter Module With Encoder (pp. 0-1). Escol.
- Esplugas, J. P., & Pitarch, M. A. (2018). *Guía para selección, instalación, uso y mantenimiento de los Extintores de incendios*. España: Dirección de Prevención.
- Estrada., I. (2001). *Diseño y calculo de recipientes a prsion*. Mexico: Diseño Y Calculo De Recipientes A Presion Juan Manuel Leon Estrada.
- Giuduci., J. M.-J.-A. (2015). *Recipientes a presion*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/eugeniacompanoni/cap-16-recipientesparte2>

- Hernandez, I. (2018). Protección contra incendio para vehículos en minería. *revista contra incendio*.
- Hernandez Martinez , s., Torres Garcia , R., & garcia Nieto, f. (2016). *Diseño e implementacion de un sistema RF, aplicando a una alarma vecinal*. Mexico: tesis de grado universidad autonoma de Mexico.
- Holtek. (2000). HT12A/HT12E Series of Encoders. 1-13.
- Holtek. (2002). HT12D/HT12F 2 12 Series of Decoders. 1-11.
- Ikeagwuani, U. M., & John, G. A. (2013). Safety in maritime oil sector: Content analysis of machinery space fire hazards. *Safety Science*, 51(1), 347-353.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.08.003>
- INACAP. (2006). *Prevención de Incendios y Uso de extintores*. Retrieved from INP: www.inp.cl
- Inderfor. (n.d.). *Forestal: Sistema de Extinción de incendios DAFO FORREX para máquina forestal*. Retrieved from Inderfor: <https://www.inderfor.com/gruas-forestales-2/>
- ISASTUR. (2010). *Incendios*. Retrieved from Manual de Seguridad: https://www.isastur.com/external/seguridad/data/es/1/1_6_2_1.htm
- ITead Studio. (2010). Hc-05 Bluetooth Module. 1.
- James, R. W. (2001). (54) ACTUATING MECHANISM FOR FIRE EXTINGUISHER. 6.
- Lay, S. (2014). Pressurization systems do not work & present a risk to life safety. *Case Studies in Fire Safety*, 1(1), 13-17. <https://doi.org/10.1016/j.csfs.2013.12.001>
- Lease, W. D. (s. f.). 54 FIRE SUPPRESSION SYSTEM FOR HEAVY MOBILE MACHINES. 6.
- Marina, t. (2003). *Mass of a Grain of Sand, The Physics Factbook*. Glenn Elert.
- McSheffrey, B. T. (2010). (75) Inventors: John J. McSheffrey, Jr., Needham, MA. 21.
- Meacham, B. J. (2014). Fire safety engineering at a crossroad. *Case Studies in Fire Safety*, 1(1), 8-12. <https://doi.org/10.1016/j.csfs.2013.11.001>

Ministerio de Minas y Energía. (2020, Agosto 19). Agencia Nacional de Minería.

Retrieved from En la mina primero la vida: la seguridad minera es responsabilidad de todos: <https://www.anm.gov.co/?q=en-la-mina-primero-la-vida-la-seguridad-minera-es-responsabilidad-de-todos>.

Perez Tovar, F. W., Huerta Aguilar, A. D., & Quezada Quezada, J. C. (2009). *universidad autonoma del estado de hidalgo*. Obtenido

de <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5584/>.

Sanches Ocaña , L. G. (2014). *Diseño de un sistema extintor automatizado para apagar incendios en el comportamiento del motor en 248 buses articulados de transporte público*. Obtenido de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2355238>.

Sandoval , s., Peralta, B., & Infante, W. (2015). *Robot Móvil Para La Detección Y Extinción De Conatos De Incendio 'Vulcanobot*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/8396/PeraltaRamirezBorisAdolfo2018.pdf?sequence=1>.

SatirNet Safety. (2014, Octubre 31). Formas de Extinción del Fuego. Retrieved from

SatirNet Safety: <https://www.satirnet.com/satirnet/2014/10/31/formas-de-extincion-del-fuego/>

Semiconductor, N. (2008). Preliminary Product Specification v1.0. March, 1-75.

Texas Instruments. (2018). MC101 DC voltage elevator. Test, 3-6.

Thomas, O. H. (2000). 54 FIRE EXTINGUISHING SYSTEM FOR. 14.

Töreyn, B. U. (2007). Fire detection in infrared video using wavelet analysis. *Optical*

Engineering, 46(6), 067204. <https://doi.org/10.1117/1.2748752>

Villanueva, J. L. (1984). *Métodos de Extinción y agentes extintores*. Barcelona, España:

Instituto Nacional de Seguridad E Higiene en el Trabajo. Retrieved from Instituto Nacional de Seguridad E Higiene en el Trabajo.